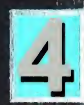
EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Volumen



PLANETA DeAGOSTINI



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

49



9 788439 554219
100049

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PLANETAS TERRESTRES

Los cuatro planetas con una superficie «verdadera», es decir, sobre la cual es posible andar, componen la categoría de los planetas llamados terrestres. En el sistema solar, son los hermanos de nuestra Tierra.



Se llaman planetas terrestres aquellos que por dimensiones y composición se parecen a la Tierra. Son Mercurio, Venus y Marte. Futuras misiones espaciales confirmarán la naturaleza de Plutón, un planeta presuntamente terrestre. Estos planetas presentan muchas diferencias respecto a los del otro grupo, el de los gigantes gaseosos. Mercurio y Venus se llaman también planetas interiores porque su órbita es interior a la terrestre.

La división entre ambos grupos de planetas se basa también en la densidad: la de los terrestres está comprendida entre 4 y 5,5 veces la del agua (4 tendría Marte y 5,5, Mercurio). En cambio, la densidad de los gigantes gaseosos es mucho más baja, comparable a la del agua.

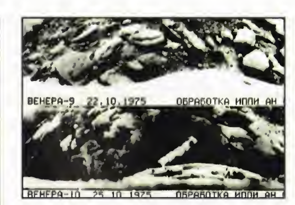
La diferencia de densidad depende sobre todo de la masa: la de los planetas terrestres es muy inferior, lo cual no les ha permitido conservar los elementos más ligeros, como el hidrógeno y el helio, principales componentes, junto al metano y el amoniaco, de los gigantes gaseosos.

PROCESO DE FORMACIÓN

En las últimas décadas se han comprobado algunos hechos que han revolucionado los conocimientos sobre la superficie de estos planetas: por una parte, la mayor comprensión de los procesos tectónicos en la Tierra; por otra, los resultados obtenidos con el envío de sondas a estos cuerpos celestes. Casi todos los planetas de tipo terrestre (incluida la Luna) muestran restos de cráteres de impacto y de actividad

A la izquierda, imagen de Mercurio, que, con Venus, la Tierra y Marte, forma el grupo de los planetas rocosos o terrestres, es decir, los que tienen las características de la Tierra.



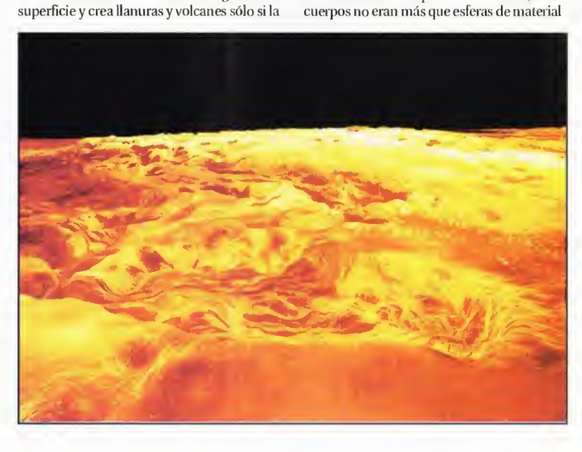


Arriba, el suelo de Venus en las fotografías de las sondas soviéticas Venera-9 y Venera-10. Son las primeras imágenes del planeta.
A la izquierda, visión global del hemisferio norte de Venus: el polo Norte se encuentra exactamente en el centro de la imagen.

volcánica en porcentajes variables en cada uno de ellos. En la superficie de Venus, y gracias al reciente mapa radar, se han apreciado evidencias de estos dos procesos. En cuanto a nuestro planeta, hoy solamente está dominado por la actividad tectónica.

En los primeros mil millones de años que siguieron a la formación del sistema solar, hubo un período de intenso bombardeo meteorítico que produjo la mayoría de los cráteres visibles en los planetas de tipo terrestre. Este hecho determinó la salida de lava que, posteriormente, formó enormes depresiones, los llamados «mares». El bombardeo inicial explica el aspecto actual de la superficie de Mercurio. Pero la causante del remodelamiento de la superficie de la Tierra ha sido la actividad tectónica, cosa que, en parte, también ha ocurrido en Venus y Marte.

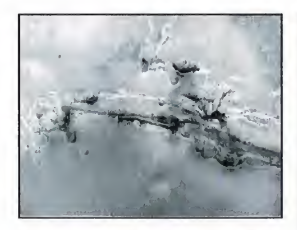
Este mecanismo está producido por movimientos convectivos del manto. A lo largo de miles de millones de años, la superficie de los planetas terrestres se ha ido fracturando, deformando y, en el caso de la Tierra, erosionando a causa del agua y del viento. El material volcánico llega a la superficie y crea llanuras y volcanes sólo si la corteza puede romperse, permitiendo a la lava fluir a la superficie. Durante los 4.600 millones de años de vida de los planetas terrestres, la Tierra es la que ha tenido una actividad volcánica más intensa, seguida, en orden decreciente, por Venus, Marte y, finalmente, Mercurio.



Reconstrucción por ordenador de la superficie de Venus, basada en datos reales recogidos por la sonda Magallanes.

ENFRIAMIENTO

La superficie más craterizada es también la más antigua. Esto significa que, cuando contemplamos este tipo de terrenos, estamos seguros de que la corteza ha tenido una historia relativamente estable. Las observaciones nos muestran que son los planetas más pequeños los que han sufrido menos modificaciones superficiales, mientras que los mayores presentan una superficie mucho más joven a causa de la actividad tectónica. En las primeras etapas de formación de los planetas terrestres, estos cuerpos no eran más que esferas de material



Arriba, reconstrucción por ordenador, sobre datos reales, del intrincado laberinto de cañones que caracteriza la superficie de Marte.

rocoso en fusión. En sus primeros 300 o 400 millones de años, sus superficies se solidificaron y formaron una corteza fina que contenía un interior fundido. Pero la colisión con grandes meteoritos podría haber provocado la ruptura de la corteza y la salida de material fundido a la superficie. Se habrían generado así auténticos mares de lava.

Los planetas terrestres no se enfrían a la misma velocidad porque la energía térmica contenida en un planeta depende de su volumen (proporcional al cubo del radio), mientras que el índice de enfriamiento depende de su superficie (proporcional al cuadrado del radio). Esto significa que los planetas rocosos más pequeños se enfrían más deprisa que los mayores. Probablemente por esto, Mercurio fue el primer planeta que hace más de tres mil millones de años formó una corteza sólida; ésta «congeló» su superficie y le impidió sufrir transformaciones posteriores. Luego se formó la corteza de Marte, mientras que, en Venus y la Tierra, la situación probablemente esté todavía evolucionando a causa del calor procedente de su interior.

SUPERFICIES

Mercurio

Los datos llegados de las sondas han demostrado que Mercurio tiene una superficie muy craterizada y muy parecida a la lunar. El diámetro de los cráteres oscila entre varios centenares de metros y centenares de kilómetros. Algunos de los más brillantes presentan largos radios similares a los de la Luna. Pero las diferencias con nuestro satélite son notables porque Mercurio carece prácticamente de cráteres medianos (de unos pocos kilómetros de diámetro). Además, mientras que en la Luna los cráteres están muy próximos y a veces hasta se superponen, en Mercurio suele haber vastas llanuras entre dos cráteres, lo que proporciona al suelo un aspecto manchado.



Imagen del disco marciano. Pueden verse los perfiles de tres volcanes.

También en Mercurio hay mares (como los de la Luna), con unas características que permiten reconocerlos individualmente. El mayor tiene más de 1.000 km de anchura, cifra muy elevada si se tiene en cuenta el radio del planeta. Tanto los mares como los cráteres contienen escarpaduras y surcos de varios kilómetros de altura y centenares de kilómetros de longitud.

Todas estas características morfológicas fueron apareciendo poco después de la formación del planeta y durante el gran bombardeo. Como Mercurio se enfrió en un tiempo corto, mucho antes que los demás, todavía hoy se observan los resultados de este intenso período inicial, porque, desde entonces, el suelo ha permanecido inmutable.

Venus

La superficie de Venus es completamente invisible a causa de la espesa capa de nubes que la recubre. Pero los mapas radar indican que la superficie del planeta presenta las características típicas del vulcanismo, de la craterización y de una primitiva actividad tectónica. Mientras que el 65% del suelo terrestre se encuentra 5 km por debajo del

Otra reconstrucción de las típicas fracturas del suelo marciano. Según una hipótesis formulada por los científicos, al comienzo de la historia del planeta se trataba de lechos de ríos.





La superficie de Mercurio es la que presenta la más alta densidad de cráteres del sistema solar.



Arriba, detalle de uno de los numerosos cráteres de Mercurio. Todos ellos son debidos al impacto de meteoritos.

nivel del mar, más del 60% de la superficie de Venus se halla en un espacio de 0,5 km del radio medio del planeta y sólo el 5% se eleva por encima de este valor. Hay dos masas continentales que están por encima del nivel medio de la superficie. La Tierra de Ishtar es mayor que Estados Unidos y tiene una sobreelevación de varios kilómetros respecto al nivel medio. En el extremo oriental de la Tierra de Ishtar se alza el monte Maxwell, que es el punto más alto de la superficie de Venus: aproximadamente 11 km sobre el radio medio y unos 2 km más alto que el monte Everest. La otra región continental es la llamada Tierra de Afrodita, que tiene una extensión similar a la de Estados Unidos.

En la superficie de Venus también hay concavidades creadas por el impacto de meteoritos, mientras que el monte Maxwell podría ser el cono de un volcán. Otras dos regiones con actividad volcánica sospechada son Beta Regio y la parte oriental de la Tierra de Afrodita. Hay pruebas, aunque indirectas, de que ha habido erupciones volcánicas en un tiempo comprendido entre hace unos pocos millones de años y unos 50 años. Como no existen pruebas de la formación de la litosfera y su movimiento, los volcanes de Venus probablemente sean puntos calientes aislados en la superficie, más que conexiones con el manto en las zonas de subducción, tal como ocurre en la Tierra. La existencia de concavidades de impacto hace pensar que la superficie tiene una edad de miles de millones de años, con algunas pequeñas áreas remodeladas recientemente. En definitiva, Venus es un planeta relativamente activo que recuerda a la Tierra primordial.

Mosaico de la superficie. La mayoría de los impactos se remontan al primer período de la formación del planeta (4.000 millones de años).

Marte

Al igual que Mercurio y la Luna, Marte presenta una topografía diferente en los dos hemisferios, pero sus características son más complejas que las de aquéllos.

En general, el hemisferio norte de Marte es unos 2 km más bajo respecto al radio medio del planeta y contiene pocos cráteres a causa de su intensa actividad volcánica. Enormes ríos de lava han remodelado la superficie después del bombardeo inicial.

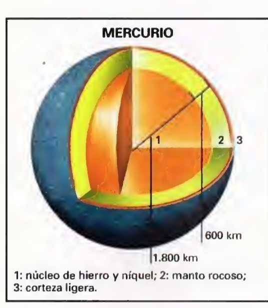


En cambio, el hemisferio sur, de unos 2 km por encima del radio medio, tiene una superficie densamente craterizada y su corteza no ha sufrido cambios importantes. En Marte hay al menos 16 concavidades circulares que contienen flujos de lava solidificada. La principal, Hellas, es observable incluso desde la Tierra. Su anchura es de 1.800 km y en su interior no presenta cráteres. El escaso número de cráteres de impacto en los mares del planeta sugiere la hipótesis de que se formaron después del período de intenso bombardeo inicial. Algunas estimaciones hacen remontar la edad de las llanuras de lava a una época posterior a los 3.000 millones de años.

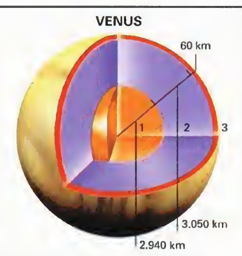
Sólo en algunas regiones del hemisferio sur la abundancia de cráteres es comparable a la de la Luna, lo que hace pensar que las superficies de ambos cuerpos tienen la misma edad. En definitiva, casi la mitad de la superficie de Marte no ha sufrido cambios sustanciales en el curso de 4.000 millones de años.

Abajo, cono de cráter en Mercurio. Las características del suelo permiten creer que este pequeño planeta jamás ha tenido una vida geológica activa.





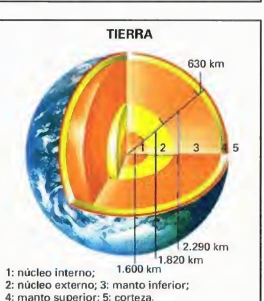
1: núcleo de hierro y níquel; 2: manto rocoso; 3: corteza ligera.



1: núcleo de metal parcialmente fundido; 2: manto; 3: corteza.



1: núcleo de hierro y compuestos de hierro; 2: manto de silicatos; 3: corteza.



1: núcleo interno; 2: núcleo externo; 3: manto inferior; 4: manto superior; 5: corteza.

En estos dibujos se representan los modelos más recientes del interior de los planetas de tipo terrestre, caracterizados por la presencia de un núcleo central de tamaño variable.

En los suelos más antiguos se observa una gran variedad de canales naturales, de edad comprendida entre los 3.000 y los 4.000 millones de años. Probablemente esto significa que hubo un tiempo en que el agua, que se cree que ahora está confinada en el subsuelo en forma de permafrost, fluía libremente por la superficie de Marte. Como los dos casquetes polares contienen hielo de agua, no es aventurado suponer que, en un pasado lejano, hubo una densa atmósfera que permitía la existencia de agua en estado líquido sobre la superficie.

INTERIOR DE LOS PLANETAS TERRESTRES

En el estudio de estos planetas es muy importante llegar a comprender cómo es su estructura interna. Oculta a nuestras observaciones, sólo podemos suponer un modelo basado en las propiedades físicas que conocemos. En la construcción de modelos del interior de los planetas hay que tener en cuenta que la gravedad hacia el interior, debida a la masa, queda equilibrada con la presión de la materia que empuja hacia el exterior. Esta última presión depende de la densidad y de la temperatura, aunque de una manera mucho más complicada que en el caso de un gas. El flujo de calor hacia el exterior determina el gradiente de temperatura a través de las capas del planeta.

También es importante el modo en que la materia se transforma de sólida en líquida y se deforma bajo la presión. Los modelos planetarios muestran que todos los planetas terrestres, como la Tierra, poseen un núcleo, un manto y una corteza.

Mercurio: un núcleo ferroso pesado

De la relación entre masa y radio se deduce que Mercurio contiene una gran cantidad de hierro, el único elemento pesado que permite explicar de manera satisfactoria la alta densidad media del planeta. Hierro y níquel representan más del 65% de la masa de Mercurio. Otra prueba a favor de un núcleo rico en hierro es el campo magnético relativamente intenso que posee el planeta, que sólo puede producirlo la presencia de material ferroso en su interior. Bajo la corteza de Mercurio hay un manto de silicatos que rodea un núcleo fundido, cuyo radio representa aproximadamente el 76% del radio total, un valor superior al de los demás planetas terrestres (incluida la Tierra).

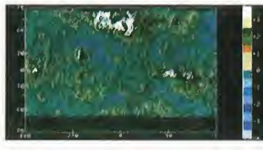
Venus

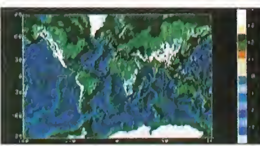
La semejanza de Venus con la Tierra en cuanto a masa y dimensiones permite pensar que su interior es prácticamente igual al de nuestro planeta. Así, Venus debe de poseer un núcleo fundido de proporciones parecidas al terrestre, rodeado de un manto de silicatos sobre el que flota la corteza. Probablemente, como en la Tierra, también hay un núcleo interno sólido. El contenido de hierro y de níquel de este núcleo debe de ser del orden del 38%; en la Tierra, del 33% y, en Marte, del 26%.

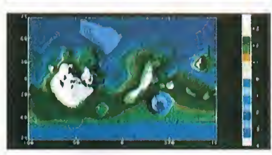
Marte

Es el único planeta del que se tienen datos sísmicos. Se ha observado que su actividad sísmica es más intensa que la de la Luna, pero inferior a la terrestre.

Mientras que en la Tierra la corteza representa el 0,5% de su radio, la de Marte se aproxima al 1%. De los planetas terrestres, Marte debe de tener menos porcentaje de hierro y un núcleo menor.



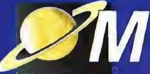




Tres imágenes de las superficies de Venus, la Tierra y Marte reproducidas con el mismo procedimiento. Los diversos colores indican las diferentes alturas respecto al radio medio del planeta; en azul, las depresiones.

BINARIAS X

Hay estrellas dobles, de características muy especiales, que emiten una gran cantidad de rayos X. Sólo recientemente los astrónomos han descubierto que se trata de sistemas en los que existe una estrella de neutrones.



Muchas estrellas nacen y se desarrollan en parejas: son los llamados sistemas binarios. En la mayor parte de ellos, la existencia de las dos estrellas transcurre tranquilamente durante centenares de millones de años. En otros, en cambio, es muy agitada. La «culpa» es de una de las dos estrellas, que perturba la tranquilidad de su compañera desencadenando fenómenos de alta energía que irradian el espacio circundante con rayos X. Estos sistemas se han convertido en uno de los objetos de estudio más interesantes de la astrofísica de altas energías.

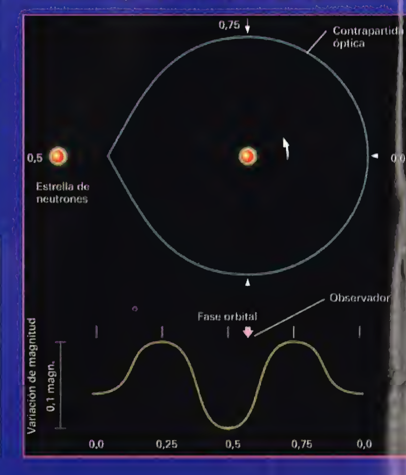
EL DESCUBRIMIENTO DE LAS BINARIAS X

En 1962 se descubrió la primera binaria X, la Sco X-1, en la constelación de Escorpión, y se identificó gracias a un detector que un cohete lanzado fuera de la atmósfera llevaba a bordo.

Inicialmente, la naturaleza de estas fuentes no estaba clara. Lo único que se sabía con certeza era que debía de tratarse de cuerpos celestes de tamaño estelar. Pero la intensidad y las características de la emisión X hacían improbable que se tratara de estrellas «normales». El enigma se resolvió con la observación de la fuente Centaurus X-3, cuya emisión X aparecía pulsada con un período de 4,84 segundos. En especial, las observaciones prolongadas a lo largo de varios días revelaron que el período de pulsación no permanecía constante, sino que aumentaba y disminuía periódicamente. Este comportamiento podía explicarse con el clásico efecto Doppler, lo que suponía que la fuente X estaba orbitando alrededor de otra estrella. Así pues, estas fuentes X se asociaban a sistemas binarios peculiares, por lo que pronto fueron denominadas binarias X.

Las observaciones ópticas que siguieron permitieron identificar la estrella principal, pero no la fuente X, que, por consiguiente, debía de ser una estrella muy poco luminosa. Las estrellas de luminosidad intrínsecamente baja, que podían causar la emisión X observada mediante procesos físicos conocidos, eran las estrellas de neutrones.

Si la fuente pulsante está en órbita alrededor de otra estrella (a la derecha), su período de pulsación varía durante el movimiento orbital. Cuando se aleja del observador (de 1 a 3), la pulsación se hace más lenta; por el contrario, con la aproximación (de 3 a 1) aumenta. Precisamente la observación de este fenómeno en la fuente Cen X-3 permitió deducir que se trataba de una estrella en un sistema binario.



En las HMXRB (a la derecha), la superficie de la contrapartida óptica es deformada por el campo gravitatorio de la estrella de neutrones. Por eso, la superficie radiante de la estrella y su brillo nos parecen distintos según la fase orbital. Esto produce una fluctuación en la curva de luz de la estrella con período igual al período orbital, que se manifiesta con dos máximos y dos mínimos por ciclo.

LOS NOMBRES DE LAS BINARIAS X

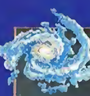
Las binarias X se caracterizan por nombres y siglas que tienen su origen en la posición de estas fuentes en la bóveda celeste, en su posición en determinados catálogos o en sus coordenadas. Así, la fuente Her X-1 debe su nombre al hecho de ser la primera fuente X descubierta en la constelación de Hércules. En cambio, la fuente 4U 1636-56 forma parte del cuarto catálogo (4) elaborado según las observaciones del satélite Uhuru (U), y se encuentra en ascensión recta 16 horas 36 minutos y con una declinación de –56°. La fuente 1E 1024-5732 forma parte del catálogo de fuentes del Observatorio Einstein (E) y los números representan las coordenadas.

CÓMO FUNCIONAN LAS BINARIAS X

Con la expresión binarias X se designa el conjunto de sistemas estelares binarios (X-Ray Binaries o XRB, según la terminología anglosajona), compuestos de un objeto colapsado que, en la mayoría de los casos, es una estrella de neutrones (o un agujero negro) y una estrella «normal», casi siempre una gigante o una estrella de la secuencia principal. Como las estrellas de neutrones emiten muy poca luz y los agujeros negros son invisibles por definición, la estrella acompañante es la única visible en la banda óptica. Por este motivo, se llama también contrapartida óptica del sistema binario.

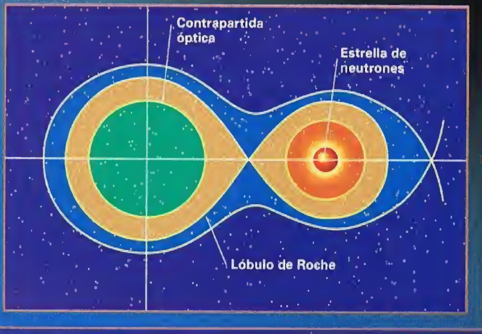
Dado que una estrella de neutrones tiene un campo gravitatorio de intensidad excepcional, puede interaccionar con la estrella compañera arrancando gas de sus estratos superficiales, a la manera de un auténtico «caníbal» estelar. Como el gas acusa la rotación de la estrella sobre sí misma, posee una elevada velocidad de rotación; por esto, no cae directamente sobre la superficie de la estrella de neutrones, sino que inicia un movimiento en espiral alrededor de ella. Paralelamente, las fricciones dentro del flujo gaseoso conducen a la creación de una estructura de forma anular llamada disco de acreción. La materia del disco, en órbitas cada vez más próximas alrededor de la estrella de neutrones, sufre una influencia creciente de su fuerte campo gravitatorio. Por consiguiente, aumenta también su energía potencial gravitatoria, que es liberada en forma de radiación de alta energía (rayos X) apenas el flujo de gas se precipita sobre la superficie de la estrella de neutrones.

En astrofísica, éste es uno de los procesos más eficaces para convertir masa en energía. Especialmente, la eficiencia (definida como el porcentaje de energía de masa $E = mc^2$ liberada en forma de radiación) depende estrechamente de la relación masa/radio de la estrella en acreción y, por esto, es tanto mayor cuanto más maciza y compacta es. Por ejemplo, en el caso especial de una estrella de neutrones, este porcentaje es aproximadamente el 10%. Para establecer una comparación, en las reacciones de fusión H-He que se producen en el interior de las estrellas, el porcentaje de masa transformada en energía es inferior al 1%.



MECANISMOS DE ACRECIÓN

La transferencia de materia de la contrapartida óptica a la estrella de neutrones sólo puede producirse si se dan ciertas condiciones. Como se sabe, la estrella compañera atraviesa durante su existencia diversas fases evolutivas, durante las cuales se expande y se contrae. Cuando su volumen supera cierto valor límite (llamado lóbulo de Roche), determinado por la masa y la distancia de ambas estrellas, se hace dinámicamente inestable bajo la acción del campo gravitatorio de la estrella de neutrones. En tal caso, sobrepasa el lóbulo de Roche y la masa perdida va a parar a la estrella de neutrones. Pero éste no es el único mecanismo. Si la compañera es una supergigante de tipo espectral O o B, su viento estelar choca contra la estrella de neutrones, por lo que ésta acumula una parte de él. Mientras que el primer mecanismo predomina en las LMXRB, este último es propio casi exclusivamente de las HMXRB.



EL LÍMITE DE EDDINGTON

En la estrella de neutrones, el proceso de acreción se detiene cuando la presión de la radiación producida es suficiente para equilibrar la del gas que cae sobre la

En las LMXRB, la mayor contribución a la luminosidad óptica del sistema no proviene de la contrapartida óptica (en general, una estrella brillante), sino del disco de acreción alrededor de la estrella de neutrones, el cual absorbe la radiación X procedente de la fuente central y la vuelve a emitir en forma de luz visible.

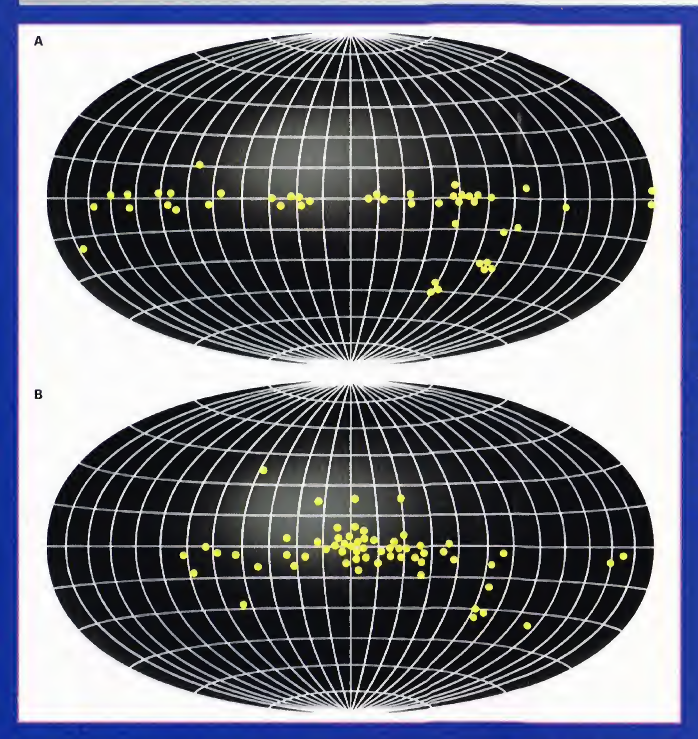


CLASIFICACIÓN DE LAS BINARIAS X

La clasificación de las binarias X se basa en las características de la contrapartida óptica, por lo que se dividen en dos clases: binarias X de gran masa, o HMXRB (High Mass X-Ray Binaries), cuya contrapartida óptica es una estrella joven, de unas 10 masas solares, y muy luminosa, y binarias X de pequeña masa, o LMXRB (Low Mass X-Ray Binaries), cuya contrapartida óptica es una estrella más vieja, con masa inferior a una masa solar, y poco luminosa.

DATOS

	MASA CONTRAPARTIDA ÓPTICA	TIPO ESPECTRAL	EDAD	PERÍODO ORBITAL	MAGNITUD ABSOLUTA	PULSACIONES
HMXRB	> 10 MSol	O-B	<10 millones de años	< 10 días	–6	frecuentes
LMXRB	< 10 MSol	F-G	>10 millones de años	1-2 días	+2	raras

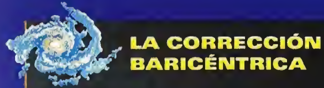


Las observaciones hechas por los satélitas durante 35 años han permitido identificar unas 200 binarias X. La mayoría de ellas se han encontrado en nuestra Vía Láctea, pero también se han observado algunas en las Nubes de Magallanes, las dos galaxias satélite de la nuestra. Fuentes de este tipo, aunque no detectadas individualmente, serían las causantes de la emisión X que se observa en muchas galaxias espirales. Las HMXRB se distribuyen más o menos uniformemente por todo el plano galáctico (A), mientras que las LMXRB tienen una concentración mayor en el centro de la galaxia y en los cúmulos globulares (B), lo cual es compatible con el hecho de que sean estrellas pertenecientes a diversas poblaciones estelares.

estrella de neutrones y «expulsarlo» del sistema. Si se cumple esta condición, se dice que se ha llegado al límite de Eddington. Entonces, la luminosidad crítica correspondiente (luminosidad de Eddington) es directamente proporcional a la masa de la estrella en acreción.

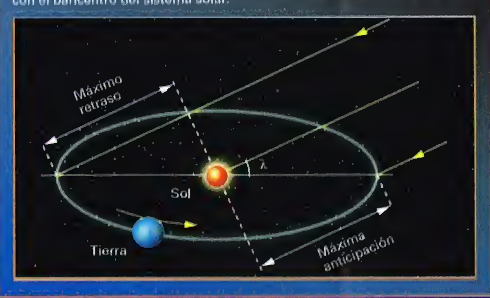
FENÓMENOS DE VARIABILIDAD EN LAS BINARIAS X

Como es fácil suponer, la cantidad de energía liberada a consecuencia de este proceso depende estrechamente de la cantidad de masa que acumula la estrella de neutrones por unidad de tiempo, es decir, de su ritmo de acreción, el cual, generalmente, es inferior a una masa solar cada 100 millones de años. Así pues, resulta fácil intuir que la luminosidad de una binaria X está influida principalmente por la variación que este parámetro puede sufrir en escalas de tiempo muy diferentes. Un ejemplo de ello serían las llamadas fuentes transitorias, que alternan fases de reposo –en las que su luminosidad es tan baja que difícilmente son detectables– con estados activos,



LA CORRECCIÓN BARICÉNTRICA

En el estudio de los púlsares surge un problema derivado del hecho de que los tiempos registrados por los detectores han de ser extremadamente precisos. Pero estas medidas quedan falseadas por el efecto Doppler, producido por el movimiento orbital del satélite en torno a la Tierra y por el movimiento de éste en torno al Sol. Cuando la Tierra se aleja de la fuente, la radiación que emite tarda más tiempo en llegar a su destino. Si la Tierra se aproxima, ocurre lo contrario. Este problema no es banal, ya que el desfase temporal calculado a consecuencia de este efecto es aproximadamente de 0,03 milisegundos por segundo, lo que representa una cantidad no despreciable cuando se buscan periodicidades en las escalas de tiempo características de los púlsares X. Por eso, los tiempos registrados por los instrumentos de a bordo han de ser corregidos según un sistema de referencia fijo que se elige solidario con el baricentro del sistema solar.



cuya duración oscila normalmente entre varias semanas y unos pocos meses, y en los cuales el aumento es muy considerable.

En cambio, otros tipos de fuentes presentan variaciones de luminosidad con un período igual al orbital del sistema binario, generalmente varios días. Cuando la estrella de neutrones se mueve en una órbita acusadamente excéntrica, en correspondencia con el periastro (es decir, el punto de máxima proximidad entre ambas estrellas) aumenta el ritmo de transferencia de materia de la compañera y, por tanto, la luminosidad X. Naturalmente, la situación contraria se da en el apoastro, cuando la distancia es máxima. En cambio, en algunos otros casos, las variaciones del flujo X pueden ser producidas por eclipses de la fuente debidos a la estrella compañera o por un eventual movimiento de precesión del disco de acreción. Por tanto, se trata de un fenómeno similar al que ocurre en las variables eclipsantes.

Junto con estos fenómenos, que se dan en intervalos de tiempo bastante largos, en algunos casos se observan variaciones de luminosidad en escalas de tiempo extremadamente breves, del orden de decenas o centenares de segundos. En muchos casos pueden ser periódicas.

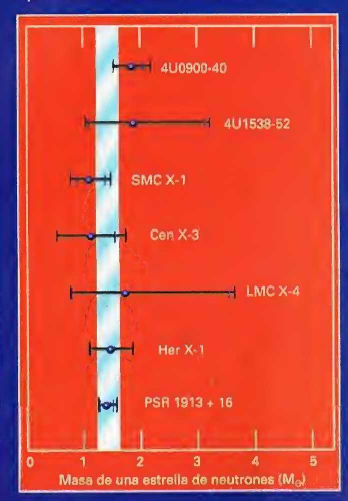
LOS PÚLSARES X

Las estrellas de neutrones en las XRB se caracterizan por un campo magnético muy intenso que rodea el espacio circundante, creando una región de influencia llamada magnetosfera, y gira en estrecha correspondencia con la estrella. Cuando la materia del disco de acreción llega al límite de la magnetosfera, dado que está constituida por gas ionizado, sufre la influencia del campo magnético de la estrella de neutrones y se ve obligada a moverse a lo largo de las líneas del campo, quedando, pues, acanalada hacia los polos magnéticos. Esto hace que gran parte de la radiación X se origine en estas

Abajo, modo en que la materia cae sobre la estrella de neutrones que forma parte de la binaria X. Como se ve, partiendo del disco de acreción cae hacia los polos siguiendo las líneas de fuerza del campo magnético.



Abajo, gráfico que muestra las masas calculadas de las estrellas de neutrones presentes en algunas binarias X, expresadas en masas solares. Las líneas horizontales representan la incertidumbre de las medidas.



regiones. Si el eje del campo magnético no coincide con el eje de rotación de la estrella de neutrones, el haz de radiación gira alrededor del eje de rotación barriendo el espacio circundante e interceptando periódicamente al observador con períodos obviamente iguales al período de rotación de la estrella de neutrones. Es un fenómeno característico de los púlsares y se llama «efecto faro».

Es importante observar que el período de los púlsares X no es absolutamente constante en el tiempo, sino que tiende a disminuir de manera regular, ya que la materia que cae sobre la estrella de neutrones aumenta la velocidad de rotación de ésta y hace que gire sobre sí misma con un período cada vez menor. La variación del período por unidad de tiempo depende, naturalmente, del ritmo de acreción de la estrella de neutrones y, por tanto, de la luminosidad de la fuente X, magnitudes interdependientes. Por este motivo, los púlsares X más luminosos son también los que se aceleran más sensiblemente.

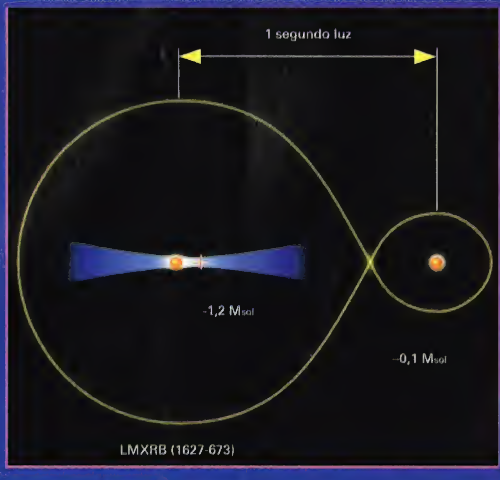
El proceso de acreción no prosigue indefinidamente. Cuando la materia del disco en las proximidades del límite magnetosférico gira con la misma velocidad que la estrella de neutrones, la fuerza centrífuga predomina sobre la gravitatoria, por lo que la materia es eyectada al espacio. En tal caso, la acreción se bloquea y, en lo sucesivo, el período de la estrella de neutrones no puede disminuir. Por esto, el período mínimo posible, llamado período de equilibrio, depende de la velocidad de la materia en el límite magnetosférico y, como viene determinada por las leyes de Kepler, aumenta con la disminución del radio magnetosférico. Esto hace que en un púlsar X el período de equilibrio sea tanto menor cuanto más pequeña sea la magnetosfera de la estrella de neutrones.

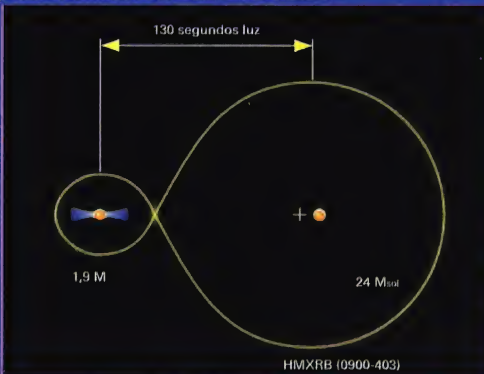
Entre los púlsares X identificados, más o menos treinta pertenecen a la clase de las HMXRB, mientras que menos de diez son de la clase LMXRB. Estas

Dimensiones normales de las binarias X de masa grande (extremo inferior) y pequeña (debajo de estas líneas). Se indican las masas de ambas estrellas (en unidades solares), así como la separación orbital en segundos luz. La cruz indica la posición del centro de masas del sistema binario alrededor del cual giran las dos estrellas.

últimas son bastante más viejas: tienen una edad del orden de centenares de millones de años, mientras que la edad de las HMXRB es tan sólo de algunos millones de años.

Se cree que esta diferencia de comportamiento se debe precisamente a la diferencia de edad. Como el campo magnético de una estrella de neutrones tiende a disminuir con el tiempo, el de las estrellas de neutrones en las LMXRB debe de ser de diez a mil veces más débil. Por este motivo, las dimensiones de la magnetosfera son menores y, según las razones antes expuestas, el período de equilibrio debería ser menor. Sin embargo, con un campo magnético más





débil, a la estrella de neutrones le resulta más difícil acanalar materia hacia sus polos magnéticos, materia que, por el contrario, tiende a caer sobre una superficie más amplia, reduciendo así la importancia del efecto faro.

En definitiva, las pulsaciones de una LMXRB deberían ser más rápidas porque la estrella de neutrones se mueve más velozmente, pero, al mismo tiempo, serían también más débiles porque el haz de radiación es mucho más disperso.

LAS FUENTES X ERUPTIVAS

Pero las LMXRB presentan un fenómeno característico: muestran variaciones imprevistas de brillo, durante las cuales el flujo X puede aumentar en un orden de magnitud en pocos segundos para, luego, disminuir hasta el valor inicial en unas decenas de segundos. Actualmente parece ser cierto que estas erupciones están originadas por explosiones termonucleares que ocurren en la superficie de la estrella de neutrones cuando el material acumulado durante el proceso de acreción

LA FUNCIÓN DE MASAS DE LAS BINARIAS X

Como en las binarias «normales», también en las binarias X es posible medir la masa de las dos estrellas a partir de sus funciones de masas. Para la contrapartida óptica, ésta viene dada por

$$P \cdot v^3/(2\pi \cdot G) = M_o \cdot \text{sen}^3(i)/q(1+q)^2$$

donde

i = inclinación del plano orbital respecto a la línea visual estimada;
$q = M_o / M_x$ es el cociente entre la masa de la contrapartida óptica (M_o) y la de la estrella de neutrones (M_x);
P = período orbital (medido);
v = velocidad radial de la contrapartida óptica (medida por el desplazamiento Doppler de sus rayas espectrales);
G = constante de la gravitación universal.

La función de masas para la estrella de neutrones se construye midiendo la amplitud Δt del retraso de las pulsaciones de la fuente X a causa del movimiento orbital (a diferencia de las «normales», las estrellas de neutrones no tienen rayas espectrales con las que medir el desplazamiento Doppler), y resulta:

$$(\Delta t)^3 \cdot c^3 \cdot (2\pi)^2/G \cdot P^2 = M_x \cdot q^3 \cdot \text{sen}^3(i)/(1+q)^2$$

donde c es la velocidad de la luz.

Así, combinando ambas funciones de masas se determina la masa de cada una de las estrellas. Esta técnica, aplicable sólo en el caso de fuentes pulsantes, permite «pesar» las estrellas de neutrones, lo cual tiene una importancia fundamental para verificar las teorías de la evolución estelar. Los valores así medidos mantienen un acuerdo óptimo con el valor límite de 3 masas solares.



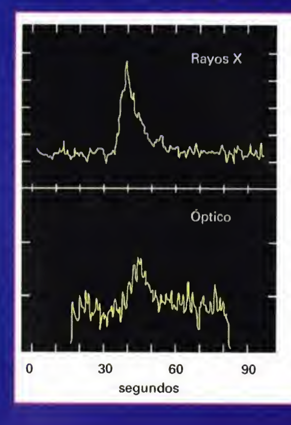
Un gran porcentaje de LMXRB se encuentra en el interior de los cúmulos globulares, los sistemas estelares más viejos de nuestra Galaxia. Según las teorías, la formación de binarias X en los cúmulos globulares se debería a la alta densidad de estos sistemas, lo que favorecería el encuentro y la captura gravitatoria de pares de estrellas.

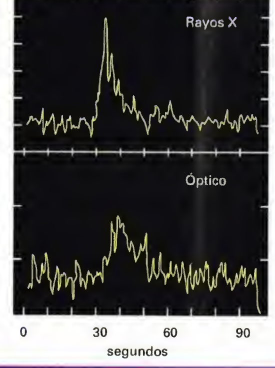
se ve comprimido por los estratos superiores y llevado a una temperatura crítica. Las curvas de luz de una determinada fuente durante la erupción muestran perfiles bastante similares, que en general tienden a adquirir una forma característica. Además, en unas doce de estas fuentes, los picos de emisión muestran una doble estructura y, en algunos casos, el máximo principal va precedido de un pico más pequeño y estrecho llamado precursor.

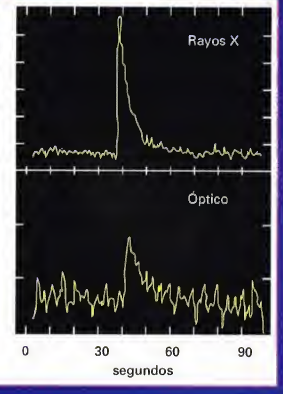
La mayoría de las veces, las erupciones pueden repetirse a intervalos de tiempo que van desde unas pocas horas hasta varios días. La única excepción es la de la fuente HMXRB 1730-335, en el cúmulo globular Liller 1, que puede producir erupciones en sucesión rápida y con una emisión de energía unas cien veces superior a la normal. La energía emitida durante una sola erupción es directamente proporcional al intervalo de tiempo que media entre un acontecimiento y el anterior.

Estas características hacen pensar que tales fenómenos no se originan en la superficie de la estrella de neutrones, como en las otras fuentes X eruptivas, sino que probablemente se deben a inestabilidades que ocurren en el interior del disco y que conducirían a un súbito aumento del ritmo de acreción.

Abajo, curvas de luz en rayos X de la fuente X eruptiva 4U 1636-536 tomadas en períodos diferentes. El perfil de las curvas indica la rápida variación de flujo que muestra la fuente duranta una erupción. Las erupciones influyen en la luminosidad.

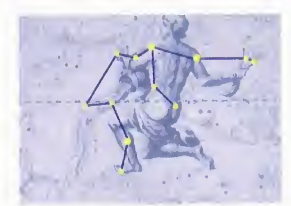






ACUARIO

Penúltima de las constelaciones del zodíaco, Acuario forma parte de la familia de las aguas celestes.



Acuario representa un hombre vertiendo el agua de un ánfora.



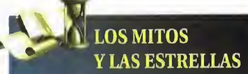
Se trata de una constelación muy amplia, formada, sin embargo, por estrellas poco luminosas. La parte más fácilmente identificable es un grupito de cuatro estrellas situadas cerca del límite norte.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El alineamiento entre las estrellas Beta y Delta de la constelación vecina de Capricornio permite hallar uno de los astros más brillantes de Acuario, la estrella Delta, a partir de la cual puede reconstruirse toda la figura.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Aunque por una pequeña diferencia de magnitud, la estrella más brillante de la constelación es Beta (magnitud 2,9) y no Alfa (magnitud 3). En realidad, estas dos estrellas son bastante similares en cuanto a características: ambas son astros gigantes de color amarillo y están situadas casi a la misma distancia, unos mil años luz. Además, van en la misma dirección y con velocidades parecidas. Alfa se conoce también como Sadal Melik, que significa «la estrella afortunada del rey». Beta tiene además el nombre de Sadal Suud, o sea, «la más afortunada de las afortunadas».

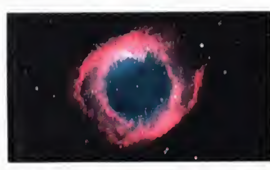


LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

ACUARIO

La constelación de Acuario no tiene una vinculación segura con ninguna leyenda. El hombre que vierte el agua en la boca del cercano Pez Austral, así representado desde la Antigüedad, se ha asociado a diversos personajes, pero el mito que generalmente se relaciona con esta figura es el de Ganimedes. Ganimedes era el hermoso hijo de Tros, rey de Troya. Mientras apacentaba las ovejas de su padre, el muchacho fue raptado por un águila enviada por Júpiter, ya que éste le quería en el Olimpo como copero de los dioses.

Zeta es una estrella doble compuesta por un par de astros blancos (magnitudes 4,4 y 4,6) que orbitan uno alrededor del otro en 856 años. Actualmente, su separación es de unos 2".



La nebulosa planetaria NGC 7293 se conoce también como nebulosa Hélice porque, vista al telescopio, recuerda precisamente este objeto.

Un astro que hay que buscar con telescopio es la estrella variable designada con la letra R, que en un período de 387 días varía su magnitud entre los valores 5,8 y 12,4. Está compuesta por dos estrellas: una de ellas es una gigante roja; la otra es una estrellita azul que orbita alrededor de la atmósfera enrarecida de la primera, lo que motiva eclipses recíprocos. En realidad, a las variaciones regulares se suman fluctuaciones imprevisibles debidas a explosiones causadas por la pequeña estrella azul, que absorbe materia de la estrella mayor. Este proceso provoca inestabilidad en la estructura superficial de la estrella más pequeña, que se resuelve con explosiones periódicas.

OTROS OBJETOS DE ACUARIO

La constelación de Acuario contiene dos nebulosas planetarias dignas de mención. Se trata de las nebulosas Hélice y Saturno, dos nombres sugestivos debidos a la semejanza con estos objetos.

La primera tiene el número de catálogo NGC 7293 y es la nebulosa planetaria más cercana. Dista de la Tierra menos de 500 años luz y se trata del mayor objeto de este tipo en diámetro aparente (casi la mitad del disco lunar). Sin embargo, es bastante difícil de identificar, a pesar de que tiene una magnitud total de 7, porque sus notables dimensiones hacen de ella un objeto muy poco contrastado.

Las siglas de la nebulosa Saturno son NGC 7009. Tiene una magnitud de 8, pero sus dimensiones aparentes son bastante reducidas en comparación con las de la anterior: sólo 40 × 25". En el centro está la estrella que la originó, un astro de decimosegunda magnitud.

Aparte de estas dos nebulosas planetarias, la constelación de Acuario contiene también algunos objetos del catálogo de Messier: M2, M72 y M73.

El primero es un cúmulo globular que dista de la Tierra 50.000 años luz. Para percibirlo bastan unos prismáticos, que lo mostrarán como una especie de mechón de sexta magnitud. Pero para apreciar mejor su naturaleza se necesitan instrumentos más potentes.

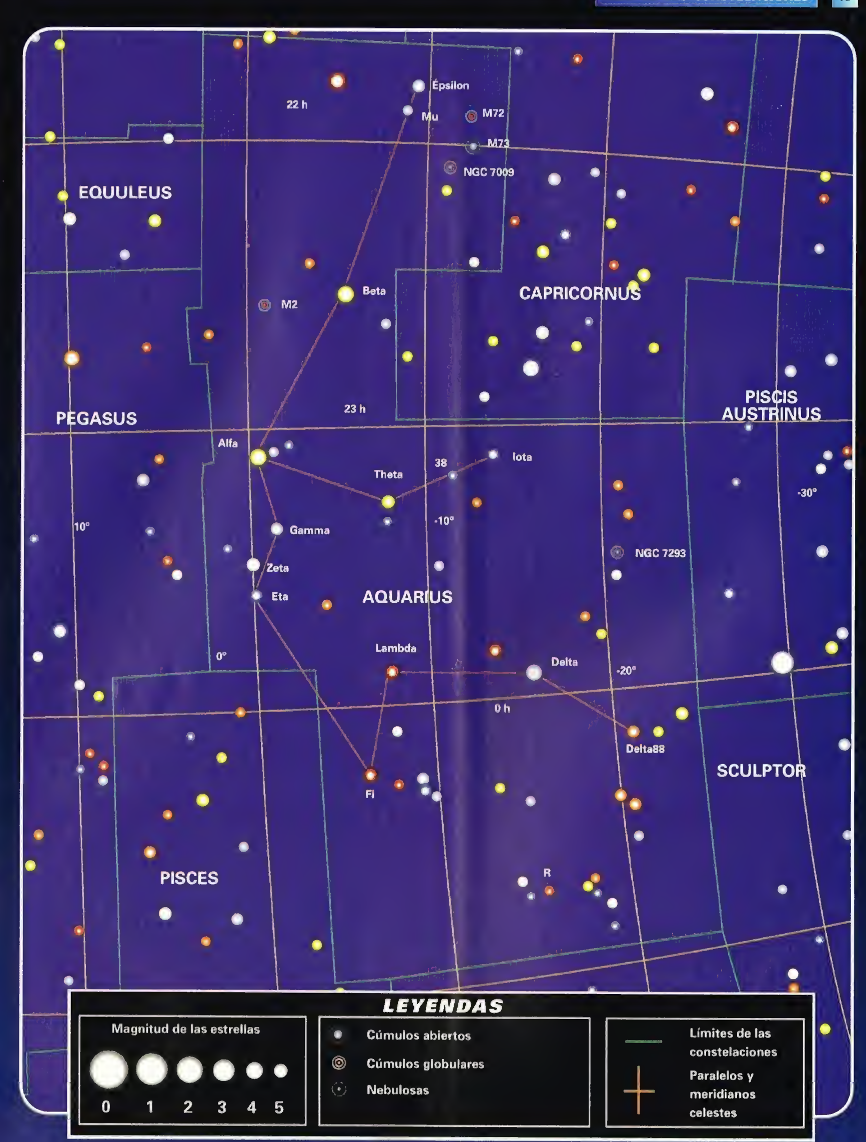
También M72 es un cúmulo globular, pero sólo de novena magnitud, lo que hace difícil su percepción.

En cambio, M73 es un grupito de cuatro estrellas muy débiles, de magnitud cercana a la undécima. Messier las introdujo en su catálogo porque su instrumento se las hacía percibir como una nebulosa. Este objeto lleva también las siglas NGC 6994.

DÓNDE BUSCARLA

ACUARIO

Acuario se observa mejor a finales de verano y comienzos de otoño. Desde latitudes como las de España, queda relativamente bajo en el horizonte. Debido a la precesión de los equinoccios, Acuario contiene el punto de Aries, es decir, el punto equinoccial de intersección entre el ecuador celeste y la eclíptica, actualmente en la cercana constelación de Piscis. Abarca una región del cielo comprendida entre las 20 horas 40 minutos y las 23 horas 55 minutos de ascensión recta, y entre 3° N y 25° S de declinación, aproximadamente.


Épsilon
22 h
Mu
M72
M73
NGC 7009
EQUULEUS
M2
Beta
CAPRICORNUS
PEGASUS
23 h
PISCIS AUSTRINUS
Alfa
38
Iota
Theta
-30°
-10°
10°
Gamma
NGC 7293
Zeta
Eta
AQUARIUS
Lambda
0°
Delta
-20°
0 h
Delta88
SCULPTOR
Fi
PISCES
R
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Cúmulos globulares
Nebulosas
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

PRIMERAS MISIONES APOLLO

Después de los primeros vuelos de las cápsulas Mercury con un hombre a bordo y de los apasionantes experimentos con las Gemini, que llevaron al espacio parejas de astronautas, comenzó el proyecto Apollo, que había de llevar dos hombres a la Luna en 1969.



El proyecto Apollo debía coronar los esfuerzos iniciados con los primeros lanzamientos Mercury: enviar un hombre a la Luna.

Los preliminares se vieron ensombrecidos por un gravísimo accidente en el cual murieron tres astronautas. Pero su sacrificio incitó a hallar una serie de soluciones que hicieran los viajes espaciales más seguros de lo que habían sido hasta aquel momento.

APOLLO-7

El primer vuelo de una cápsula Apollo con hombres a bordo tuvo lugar en 1968 con el Apollo-7.

Las misiones Apollo-1, Apollo-2 y Apollo-3, sin tripulantes a bordo, tenían por objeto controlar el funcionamiento del módulo de mando y el cohete de la fase S-IVB. Los tres lanzamientos tuvieron lugar en 1966 con cohetes Saturno I-B. Los números de las misiones se asignaron al ser cumplimentadas. Esto ha provocado cierta confusión, porque la mayor parte de los informes relativos al incendio que acabó con la vida de Grissom, White y Chaffee se refieren al que habría sido su vuelo como Apollo-1.



Imagen del lanzamiento del Apollo-7, una de las numerosas misiones preparatorias para el envío de un hombre a la Luna, lo que tuvo lugar en 1969.

De hecho, el primer vuelo al que se reconoció un número antes de la partida fue el Apollo-4 que, junto con el Apollo-5 y el Apollo-6, tenía la misión de probar, entre otras cosas, el módulo de servicio y el lunar.



Fotografía tomada por los astronautas del Apollo-7. Al fondo, la Tierra.

A medida que se acercaba el 11 de octubre de 1968, día del lanzamiento del Apollo-7, Cabo Kennedy parecía volver a un fervor que recordaba los tiempos del primer Gemini.

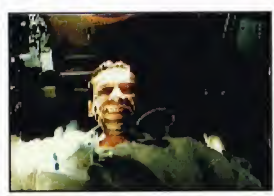
El cohete era el Saturno I-B, no tan potente como el gran Saturno-5, pero suficiente para enviar a la órbita terrestre el módulo de mando y el anexo módulo de servicio con tres hombres a bordo. Se había previsto una misión de 11 días.

«Es como un sueño», anunció Walter Schirra, el comandante, poco después del lanzamiento, efectuado a las 11.03.

Sobre las islas Hawai, después de haber cumplido casi dos órbitas alrededor de la Tierra, los tres astronautas separaron de la segunda fase del Saturno I-B los módulos de mando y de servicio. Era la misma bifase S-IV-B que en el modelo mayor, Saturno-5,



A la izquierda, Donn Eisle; abajo, Walter Schirra, y a la derecha, Walter Cunnungham, los tres astronautas del Apollo-7. Por primera vez, tres estadounidenses volaban juntos por el espacio. Con el Apollo-7 se abrió realmente la carrera hacia la Luna.







Largos meses de estudio y preparación física precedían a cada lanzamiento de las misiones estadounidenses del proyecto Apollo.

habría dado a los hombres el último empuje para hacerlos salir de la órbita terrestre baja y enviarlos al encuentro de la Luna.

En los dos primeros días, siguieron sin tregua las pruebas de las instalaciones eléctricas, de navegación, de propulsión y de control de la cápsula. Utilizando la fase del cohete extinguido como objetivo, Schirra efectuó diversas maniobras de aproximación en órbita para probar los módulos de mando y de servicio.

Entre los principales objetivos de la misión, figuraban el de efectuar ocho reencendidos del motor principal. Todo funcionó a la perfección; en algunos casos, los astronautas alcanzaron una órbita de 445 km, siempre con gran precisión y potencia.

Cuando el Apollo-7 entró en la rutina de su largo vuelo, las conexiones televisivas se convirtieron, para los participantes en la misión, en el momento culminante de cada jornada. Tenían una duración de 7 a 11 minutos. Gracias a estas transmisiones (los tres astronautas nunca perdieron el buen humor), el mundo pudo tener una pequeña idea de la vida a bordo de un vehículo espacial en órbita.

El 22 de octubre, después de haber efectuado 163 órbitas extremadamente regulares alrededor de la Tierra –casi seis millones y medio de kilómetros– y de tomar centenares de fotografías del planeta –entre ellas la del ojo de un huracán–, los astronautas del Apollo-7 guiaron el módulo de mando hasta hacerlo amerizar en las aguas agitadas al sur de las Bermudas.

Un fuerte oleaje hizo zozobrar la cápsula espacial, pero la tripulación hinchó rápidamente los sacos de flotación para enderezar el vehículo de manera que el vértice, con su antena, pronto volvió a apuntar hacia arriba. Los astronautas se encontraron muy pronto a bordo del buque de recuperación: habían conseguido todos los objetivos previstos.

APOLLO-8

Después de un atento y complejo examen de todos los sistemas y de los riesgos inherentes, los técnicos de la NASA comprobaron que era posible alcanzar un objetivo más ambicioso: poner hombres en órbita lunar.

El comandante del Apollo-8 era Frank Bormann, y sus compañeros, James Lowell y Williams Anders, el «novato» de la empresa.

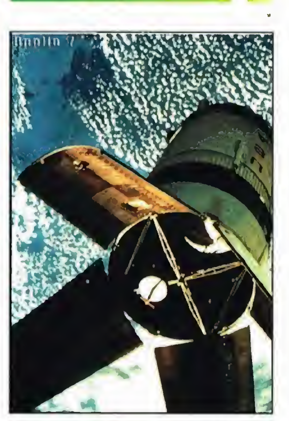
En la noche del 20 de diciembre, los tres hombres se prepararon para iniciar su viaje como adelantados de la mayor aventura de la era espacial, pero conscientes de los riesgos que esto comportaba. El lanzamiento se efectuó puntual y perfectamente a las 7.51 del 21 de diciembre de 1968 entre un ruido ensordecedor.

El Saturno-5, elevándose por encima de una oleada llameante hacia el azul del cielo, tardó once minutos y medio en llevar a los astronautas a una órbita a 190 km de la Tierra.

Después de haber completado dos órbitas, durante las cuales comprobaron que el vehículo espacial funcionaba perfectamente, los astronautas partieron hacia la Luna desde un punto sobre el océano Pacífico, al sur de las Hawai. En aquel momento, la zona todavía estaba sumida en la oscuridad. Algunos habitantes de las islas contaron que durante cinco minutos habían visto el reencendido del cohete de la tercera fase, que empujó el vehículo espacial hacia la Luna.

Sugestiva imagen nocturna del Apollo-7 en la rampa, poco antes de su lanzamiento.





El Apollo-7, que el 11 de octubre de 1968 fue lanzado para efectuar 163 órbitas regulares alrededor de la Tierra.

Unos treinta minutos después, la tercera fase del Saturno se separó del vehículo haciendo saltar los pernos explosivos. Simultáneamente, fue abandonado un escantillón del módulo lunar, llevado al espacio como lastre. Luego, a lo largo de la jornada, se ordenó a los astronautas que encendieran el cohete principal del módulo de servicio durante dos o tres segundos.

Aparte de corregir la trayectoria, el encendido tenía la finalidad de confirmar a los astronautas que el motor del cohete, esencial en las maniobras en órbita lunar, funcionaba normalmente.

En Houston, una tranquila excitación recorrió la sala de control de la misión en la víspera de Navidad. Los controladores del vuelo, incluso los que en teoría debían haber estado fuera de servicio, se reunieron en torno a los instrumentos para presenciar las primeras y emocionantes fases del recorrido por la órbita lunar.

El éxito y la seguridad de los tres astronautas dependían de las prestaciones de un solo motor del cohete. Debía encenderse sin la menor irregularidad para colocar el Apollo en órbita y reencenderse con igual perfección para devolverlo a la Tierra. El motor campaniforme, de algo más de 2 m de ancho por casi 4 m de largo, estaba situado en el extremo posterior del módulo de servicio, de 10 m de longitud.

Para reducir las posibilidades de una mala prestación, el motor se había construido con menos de cien partes



La tripulación del Apollo-8: Frank Bormann, comandante, James Lowell y William Anders. Los dos primeros ya habían volado juntos a bordo de la Gemini-7. Para Anders, el Apollo-8 fue su bautismo como astronauta. Con el Apollo-8, el hombre circunvoló por primera vez la Luna.

móviles, y todas ellas tenían un duplicado de emergencia, con excepción de la tobera de descarga y de la cámara de combustión. No se necesitaba ningún dispositivo de encendido, ya que combustible y oxidante se encendían al entrar en contacto.

En las primeras horas de la víspera de Navidad, el Apollo-8 mantenía su cita lunar. Mientras iba al encuentro de la parte anterior de nuestro satélite, los controladores de tierra, verificados los datos de todos los sistemas del vehículo, decidieron continuar con las maniobras cruciales de entrada en órbita.

A las 4.49, cuando el vehículo espacial giró hacia la cara oculta de la Luna, las señales cesaron. El Apollo-8 estaba fuera del radio de acción de las tres antenas de recepción en el espacio profundo. Faltaban 10 minutos para el encendido previsto del cohete principal del vehículo, que reduciría la velocidad del Apollo-8 para colocarlo en órbita lunar.

Si el motor no se hubiese encendido, los astronautas se habrían limitado a girar alrededor de la otra cara de la Luna, sin entrar en órbita, y habrían sido lanzados en dirección a la Tierra.

Pero el motor se encendió en el momento previsto, a las 4.59, cuando el Apollo se hallaba exactamente detrás de nuestro satélite natural, y funcionó durante algo más de cuatro minutos. Estaba dirigido a la Luna con un ángulo tal que hacía que su encendido actuara como un frenado explosivo, reduciendo la velocidad del vehículo de 9.265 a 5.862 km/h. Pero hasta veinte minutos después los controladores de vuelo no sabrían si el vehículo había entrado en órbita.

Esperaron en un silencio tenso. ¿Se había encendido el cohete? ¿Estaba en órbita el Apollo-8?



«He visto salir la Tierra», dijo uno de los astronautas después de una vuelta alrededor de la Luna. Era la primera vez que un espectáculo parecido se mostraba a los ojos del hombre. El vuelo fue perfecto. Sólo faltaba intentar el gran salto: descender a la Luna. Pero los técnicos de Houston prefirieron ser prudentes y antes de la conquista del satélite experimentaron otras dos veces las cápsulas de alunizaje.

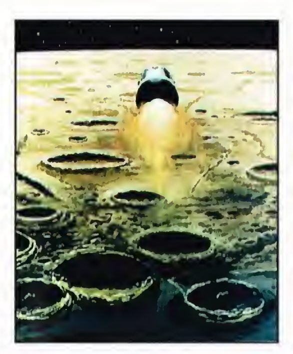
Cuando la cápsula reapareció desde detrás de la Luna, un comentarista de la misión en la sala de control exclamó: «¡Lo hemos logrado! ¡Lo hemos logrado!».

Al final de la segunda órbita completa, cuando el Apollo-8 se hallaba una vez más detrás de la Luna, su cohete principal fue reencendido para llevar la cápsula desde una órbita oval a una circular a unos 112 km sobre la superficie lunar.

Los astronautas comieron y, por turnos, descansaron un poco, tomaron numerosas fotografías, así como datos de gran importancia para las misiones siguientes.

Representación esquemática de las diversas fases de la misión del Apollo-8.

Órbita de aparcamiento terrestre
Recuperación en el mar
Trayectoria transterrestre
Órbita lunar de retorno
Trayectoria translunar
Órbita solar
Reencendido durante la segunda o tercera órbita
Segundo apagado de los cohetes; trayectoria de retorno libre



Reconstrucción pictórica de la fase en que el módulo lunar se aleja de la cápsula madre durante la misión del Apollo-8.

MENSAJE DE NAVIDAD

Mientras tenía lugar la transmisión televisiva de la víspera de Navidad, Bormann dijo: «Apollo-8 tiene un mensaje para todos vosotros», refiriéndose no sólo a los técnicos de Houston, sino a toda la humanidad. Y mientras la cámara ofrecía a los espectadores la extraordinaria visión de un desolado primer plano de la Luna, Anders pronunció las primeras palabras del Génesis: «Al principio creó Dios el cielo y la tierra. Pero la tierra era informe y vacía, y las tinieblas cubrían la superficie del abismo...». Lowell continuó con el versículo que empieza: «Y Dios llamó día a la luz y noche a las tinieblas». Bormann concluyó la lectura con este versículo: «Y a lo árido diole Dios el nombre de tierra y a las aguas reunidas las llamó mares. Y vio Dios que lo hecho era bueno». Bormann terminó el mensaje diciendo: «Hasta pronto, buenas noches. Feliz Navidad. Dios os bendiga a todos, a todos vosotros en la buena Tierra».

Después de haber orbitado la Luna diez veces en unas veinte horas, el Apollo-8 apuntó de nuevo en dirección a la Tierra en las primeras horas de la mañana de Navidad.

A la 1.10 se encendió el gran motor del cohete para salir de la órbita lunar e iniciar el viaje de 57 horas que debía llevarlo a amerizar en el Pacífico.

Una vez más, en la sala de control de Houston se vivieron unos minutos de tensión, ya que el encendido del cohete tuvo lugar mientras el vehículo espacial se hallaba detrás de la Luna y, por tanto, fuera de la conexión por radio con la Tierra.

«La Luna es sobre todo gris, sin color –explicó Lowell a los controladores de vuelo–. Parece plastilina o como ciertas playas de arenas grisáceas. El mar de la Fertilidad es más nítido visto desde la Tierra; aquí hay mucho contraste entre la depresión y los cráteres que la rodean.» Ésta fue la primera descripción de la superficie lunar vista desde sólo 112 km.



Si el cohete no se hubiera encendido, los astronautas del Apollo habrían permanecido en órbita lunar, condenados a morir cuando se hubiese agotado la provisión de oxígeno. Pasaron unos quince minutos antes de que los controladores de vuelo recibieran la confirmación de que todo había ido bien.

Dejando a sus espaldas la Luna, en torno a la cual habían orbitado, los astronautas del Apollo-8 pasaron una tranquila Navidad en el espacio mientras se dirigían a la Tierra a una velocidad creciente. Atravesaron de nuevo el espacio entre ambas esferas de influencia gravitatoria y, cuando la gravedad terrestre ya ejercía una mayor atracción sobre el vehículo, encendieron los cohetes de maniobra con el fin de modificar ligeramente la dirección y poder llegar al punto de amerizaje en el Pacífico.

El retorno a la Tierra, en la mañana del 27 de diciembre, se desarrolló con la misma precisión que había caracterizado todo el viaje. El sistema de guía y navegación del vehículo espacial había controlado la inmersión en el corredor atmosférico, de sólo 42 km de diámetro, a la velocidad de 39.470 km/h, la más alta que un vehículo espacial pilotado había alcanzado jamás en la reentrada.

La cápsula Apollo-8 era similar a la Apollo-7. Las principales diferencias estaban en los sistemas de transferencia del módulo lunar y en algunas mejoras en la habitabilidad de la zona reservada al descanso de los astronautas.



LA MISIÓN GALILEO

Casi veinte años después de las misiones de las sondas Voyager, Júpiter ha sido avistado de cerca por la sonda Galileo. Las imágenes y los resultados científicos obtenidos han abierto nuevas perspectivas al estudio de este planeta.



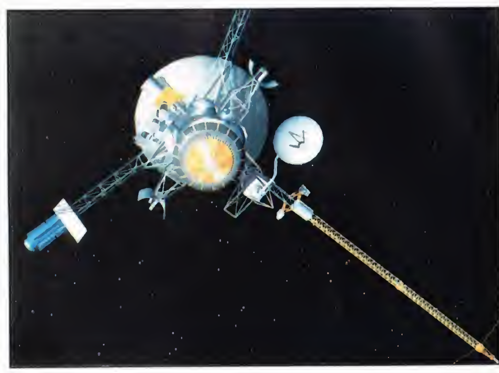
La misión Galileo hacia Júpiter, proyectada por la NASA, comenzó el 18 de octubre de 1989 con el lanzamiento del transbordador Atlantis, que llevaba la cápsula en su bodega. La misión recibió este nombre en honor del científico Galileo Galilei, que en 1610 descubrió los principales satélites de Júpiter con el primer telescopio astronómico. El objeto de esta misión era tomar datos directamente del interior de la atmósfera de Júpiter con una pequeña sonda y estudiar, por medio de la cápsula madre y con observaciones a largo plazo del sistema del gran planeta, su magnetosfera y sus satélites durante dos años a partir de diciembre de 1995.

UNA MISIÓN COMPLEJA

El proyecto y la conducción de la misión corrieron a cargo del Jet Propulsion Laboratory, mientras que la pequeña sonda que penetró en la atmósfera de Júpiter fue construida por el Ames Research Center de la NASA. La misión Galileo contó también con el apoyo del gobierno alemán y de científicos de seis naciones.

Lo mismo que la Voyager y algunas misiones anteriores, la Galileo utilizó los campos gravitatorios de los planetas a manera de hondas para llegar a su destino. La cápsula se sirvió de los campos gravitatorios de la Tierra y de Venus para adquirir la velocidad suficiente para llevarla a Júpiter. Esta fase terminó con el segundo pase de la sonda cerca de la Tierra, el 8 de diciembre de 1992, lo que permitió comprobar su instrumentación científica.

Después de atravesar dos veces el cinturón de asteroides, tomó imágenes cerca de dos de ellos,



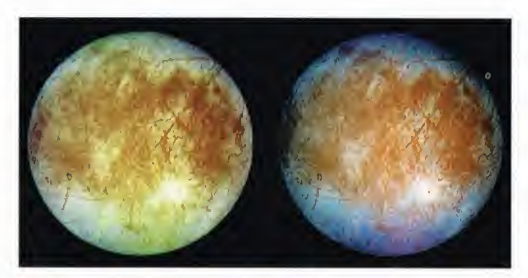
Arriba, la sonda Galileo durante su viaje por el sistema solar. A pesar de los graves problemas de desplegado de la antena principal, la reconversión del software de a bordo, utilizado para la transmisión de los datos, permitió salvar en gran parte el significado científico de la misión.

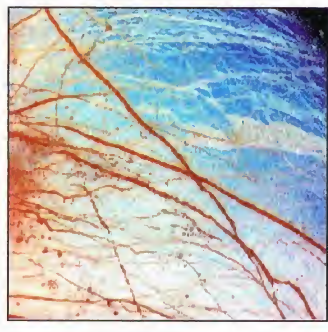


A la izquierda, composición de dos imágenes de la atmósfera joviana tomadas por la sonda Galileo. Se observan las diferencias entre las zonas oscuras que hay en las cercanías de los polos (abajo, cerca de la Mancha Roja) y las de las latitudes medias (arriba, a 50 grados de latitud norte).



A la derecha, reconstrucción por ordenador de la fase de máximo acercamiento de la sonda Galileo.





Gaspra (1991) e Ida (1993), y se comprobó que éste tenía un satélite.

En julio de 1994, la Galileo tomó imágenes de los 20 fragmentos del cometa Shoemaker-Levy que se desintegraban en dirección al lado nocturno de la atmósfera de Júpiter.

En diciembre de 1995, la pequeña sonda atmosférica descendió a la atmósfera del planeta y efectuó las primeras observaciones desde el interior, mientras la cápsula madre (el orbitador) iniciaba un viaje de 23 meses por el sistema de Júpiter para estudiar su magnetosfera y sus principales satélites. Tuvo diez encuentros cercanos con la superficie de estos últimos.

UN PROBLEMA DE TRANSMISIÓN

Los datos científicos de este trabajo orbital fueron transmitidos a la Tierra por la antena de baja ganancia a una velocidad de transmisión más lenta que la prevista al principio. Esto se debió a que en abril de 1991 falló la apertura de la antena de alta ganancia. Para utilizar la de baja ganancia, sin la cual podía decirse que la misión había fracasado, se crearon nuevos sistemas de codificación de los datos que había que transmitir, al tiempo que se potenciaba la recepción en tierra de las débiles señales emitidas.

Los datos enviados por la Galileo son transmitidos a un ritmo que oscila entre 10 y 100 bits/s, en vez de los 1.000 bits/s previstos.

Arriba, dos imágenes del satélite joviano Europa, una en colores reales (a la izquierda) y la otra en falsos colores, que permiten aumentar los contrastes. Las zonas oscuras se deben a la afloración de material rocoso del interior. La mancha brillante que hay abajo a la derecha es un cráter de unos 50 km de diámetro.

A la izquierda, imagen en falsos colores de la zona de Europa llamada Minos Linea, obtenida por la sonda Galileo el 28 de junio de 1996. En marrón y rosado son bien visibles las fracturas de la corteza helada del satélite. Las llanuras están representadas con diversas tonalidades de azul, que probablemente denotan diferencias de dimensiones del polvo helado.

A la derecha, una composición de imágenes de Calisto, la más alejada de Júpiter de las principales lunas jovianas. La banda de la izquierda muestra la visión del satélite que debería haber tenido la sonda Voyager-1, la central representa la visión de la Galileo y la de la derecha los datos de la Voyager-2. La resolución de la Galileo es decididamente superior a la de las otras: permite ver detalles del orden de 5 km.

Las informaciones, registradas y almacenadas temporalmente en los instrumentos de a bordo, son enviadas lentamente a la Tierra. Los mayores problemas los presentan las fotografías digitalizadas.

La señal de la Galileo se recoge en la Tierra mediante antenas de radio instaladas en California, España y Australia.

La cápsula madre, que permanece en órbita, pesa más de dos toneladas y transporta diez instrumentaciones diferentes, mientras que la pequeña sonda atmosférica, de 340 kg de peso, contiene otras seis.

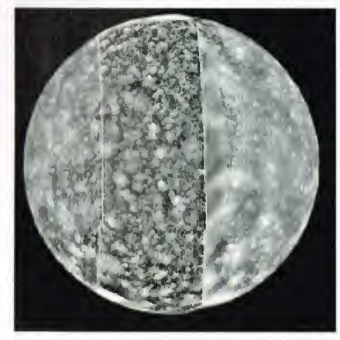
ÚLTIMOS RESULTADOS SOBRE JÚPITER

Además de los estudios de la magnetosfera del planeta, durante sus órbitas alrededor de Júpiter, la sonda Galileo ha tomado muchas fotografías de la capa superior de la atmósfera, lo que ha permitido hacer una reconstrucción de la dinámica de las nubes. Con la toma de imágenes en longitudes de onda diferentes, se ha podido observar la estructura de las nubes a muchos niveles. Cambiando la longitud de onda, son visibles las nubes profundas –allí, la presión equivale a tres veces la terrestre– o las superficiales. De los datos obtenidos se ha deducido que las distintas latitudes se caracterizan por estructuras nubosas de altura también distinta. Una excepción es el aspecto acuoso de la Gran Mancha Roja y de las regiones ecuatoriales, que se debe a la presencia simultánea de masas de gas de alta y baja cota.

AURORAS EN JÚPITER

La actividad volcánica de Ío provoca la penetración en el sistema de Júpiter de una enorme cantidad de partículas cargadas eléctricamente, capturadas con preferencia por el campo gravitatorio de Júpiter. La fuerte magnetosfera del gigante gaseoso las intercala en anillos a lo largo de las líneas de fuerza alrededor del planeta.

A bordo de la Galileo, los investigadores instalaron dos espectrómetros ultravioleta que miden la luz reflejada por las partículas cargadas y hacen posible su identificación. Se ha visto que las partículas emitidas por Ío contienen azufre y iones de oxígeno,





Reconstrucción por ordenador del acercamiento de la sonda Galileo a Ío, el más interior de los principales satélites de Júpiter, en la mañana del 7 de diciembre de 1995.

los cuales, en contacto con la atmósfera de Júpiter, producen luz ultravioleta visible por los espectrómetros de la Galileo.

La interacción entre las partículas cargadas y la atmósfera produce auroras muy violentas, que en Júpiter no se limitan como en la Tierra a las altas latitudes, sino que se extienden a todas las capas superiores.

Por tanto, los volcanes de Ío son los causantes de estos trazos en estrías que permiten estudiar más detalladamente el campo magnético de Júpiter y la evolución del sistema planetario.

LA SONDA ATMOSFÉRICA

El 7 de diciembre de 1995, una pequeña sonda penetró en la densa atmósfera de Júpiter después de haberse desenganchado de la sonda madre en julio del mismo año. La sonda no estaba equipada con telecámaras, pero transmitió datos durante 57 minutos antes de que, 200 km más abajo del nivel visible de las nubes, las altas temperaturas impidieran posteriores transmisiones.

Los datos enviados indican que, en las capas más altas de la atmósfera de Júpiter, las densidades y las temperaturas son mayores de lo previsto, mientras que, a más profundidad, están próximas a los valores supuestos. Entre los 100 y los 150 km, el porcentaje de vapor de agua en la atmósfera es mucho menor de lo que se esperaba y la densidad de las nubes es inferior a las de las determinaciones telescópicas y a las de las sondas precedentes; las estructuras que se han encontrado son de hidrosulfuro de amoniaco. Un problema importante, todavía no resuelto, consiste en determinar si la zona analizada es representativa de toda la atmósfera.

En contra de lo que se esperaba, las densidades de las nubes encontradas parecen ser diferentes, a pesar de que la estructura de la atmósfera no está alterada por una capa superficial formada por nubes de amoniaco.

Los vientos de Júpiter, que soplan alternativamente de este a oeste, parecen no depender de la profundidad, porque la sonda reveló una velocidad similar de unos 700 km/h tanto en la superficie como en las profundidades. Esto implica que el motor térmico no es el calentamiento solar, sino probablemente el calor procedente del interior.

Esta pequeña sonda también pudo calcular los porcentajes de los diversos elementos: después del hidrógeno y del helio, que son los principales componentes, hay presentes pequeñas cantidades de oxígeno en forma de vapor de agua, de carbono en forma de metano, de azufre como sulfuro de hidrógeno y, naturalmente, de nitrógeno en forma de amoniaco.

EL MISTERIO DE EUROPA

Durante su permanencia en el sistema del gran gigante, la sonda Galileo efectúa también encuentros próximos a los cuatro principales satélites de Júpiter: Ío, Europa, Ganimedes y Calisto.

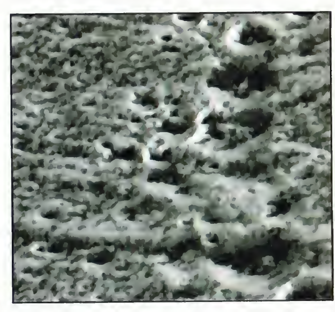
Las imágenes que la sonda ha enviado son espectaculares por la riqueza de detalles con que muestran las superficies resquebrajadas de estos cuerpos.

Entre todos los satélites, el que más tinta ha hecho correr es, sin duda, Europa, ya que la gruesa capa de hielo que recubre su superficie aparece rota en algunas zonas, en las que se ven lastrones separados que podrían indicar la presencia debajo del hielo de un océano líquido a temperatura más elevada. El calor necesario para explicar el aumento de temperatura podría derivar de los fuertes efectos de las mareas a que Europa está sometido por su proximidad a Júpiter. Si estas observaciones se confirmaran, se darían las condiciones necesarias para la existencia de formas primitivas de vida debajo de la capa externa de hielo.



A la izquierda, imagen de Ganimedes. La superficie del mayor satélite de Júpiter aparece claramente cubierta de hielo, sobre el cual se observan numerosas señales de impactos de asteroides.

A la derecha, imagen de la superficie de Ganimedes, la mayor luna del sistema solar, tomada por la sonda Galileo el 6 de septiembre de 1996. Parece que la luminosidad alrededor de los cráteres que se observa en la fotografía se debe a la presencia de hielo de agua que refleja la luz solar. La región que cubre esta imagen tiene una anchura de unos 18 km.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LA CORONA Y EL VIENTO SOLARES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

SUPERNOVAS HISTÓRICAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

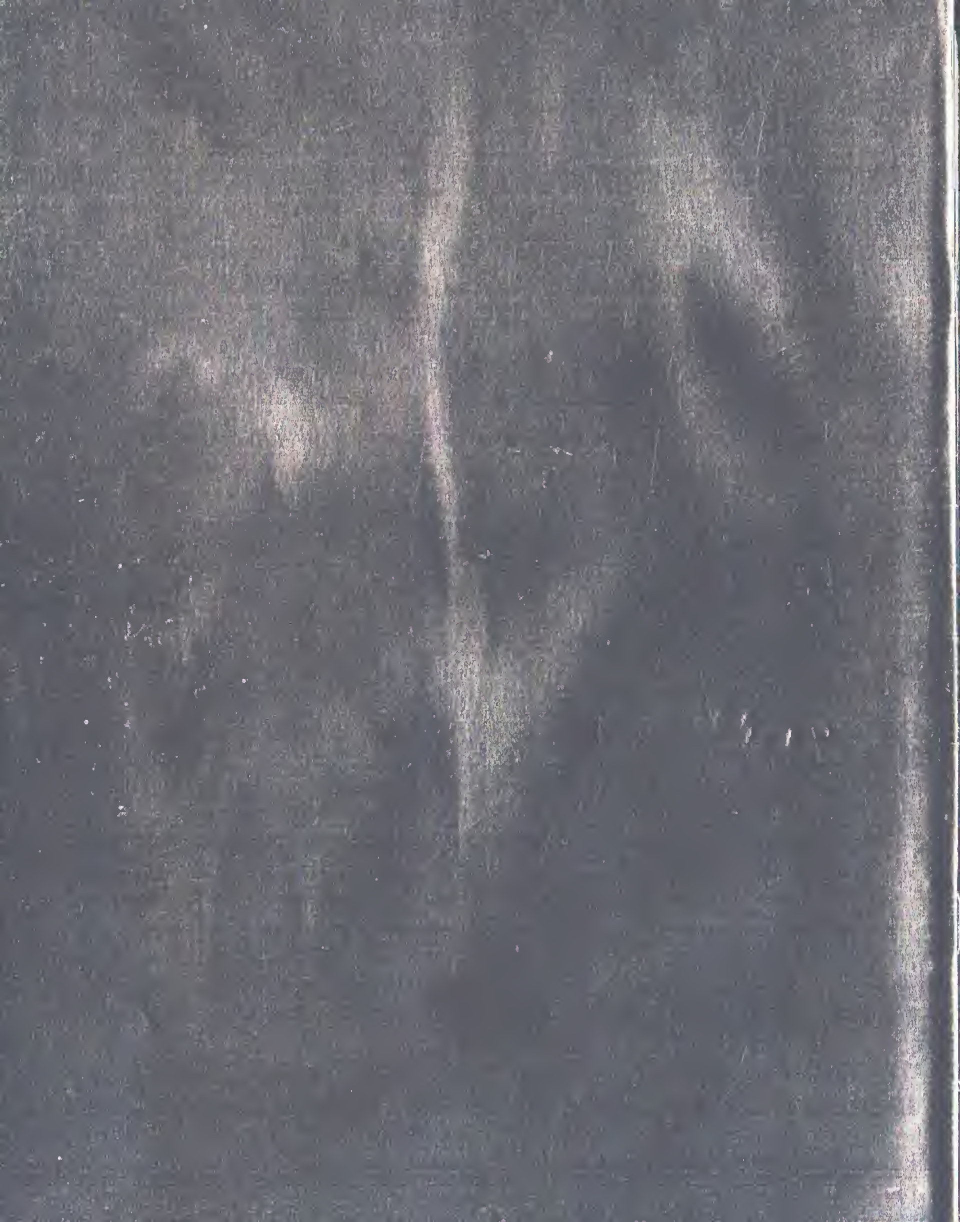
CAMALEÓN-PEZ VOLADOR

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

DETECTORES CCD

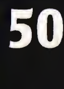
LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

MISIÓN MARINER



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO





$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.: Brisiock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

LA CORONA Y EL VIENTO SOLARES

El Sol no tiene unos límites bien precisos, pues su atmósfera se va diluyendo poco a poco en el medio interplanetario. La parte más externa de nuestra estrella es la corona, visible sólo durante los eclipses, que ocultan las regiones más luminosas. Más allá de la corona, un flujo continuo de partículas, el viento solar, se va alejando del Sol.



Cuando observamos el disco solar, lo único que vemos es su parte más luminosa, la fotosfera. Ésta, con su elevada luminosidad, nos impide ver las capas más externas de la esfera solar. No obstante, cuando se produce un eclipse total la fotosfera queda oculta por el disco lunar, por lo que es posible ver la corona, la parte más externa de la atmósfera del Sol.

LA CORONA, UN GAS MUY CALIENTE

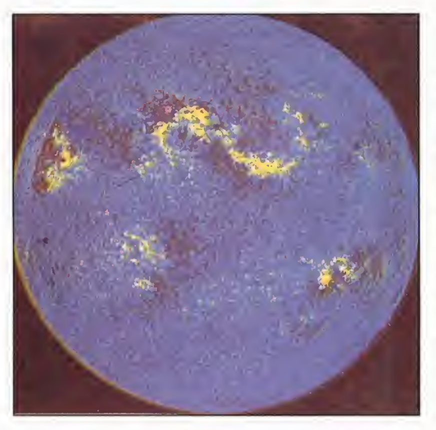
La corona solar se extiende a lo largo de muchos radios solares. Carece de límites precisos y se va diluyendo poco a poco en el medio interplanetario.

El comportamiento de la corona, por tanto, se asemeja al de las atmósferas de los planetas, con una densidad que se va reduciendo a medida que aumenta la distancia al Sol. No obstante, la corona tiene un comportamiento anómalo en lo tocante a la temperatura.

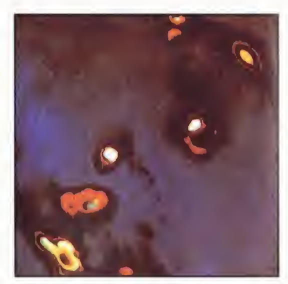
La temperatura del Sol decrece del interior al exterior. Mientras que en el núcleo de nuestra estrella las reacciones de fusión termonuclear producen



Durante los eclipses totales de Sol, podemos asistir a uno de los espectáculos más fascinantes del firmamento: la manifestación de la corona solar (aquí, una imagen tomada por un coronógrafo). La tenue y caliente envoltura gaseosa de nuestra estrella deja de estar enmascarada por el mayor brillo de la fotosfera y puede mostrarse por fin en toda su belleza.



Con las primeras observaciones del Sol en la banda de los rayos X que se realizaron con instrumentos dotados de suficiente poder de resolución, se advirtió que la corona solar distaba mucho de ser uniforme (a la izquierda). Mostraba profundas hendiduras, zonas en las que la emisión de rayos X era mínima, que recibieron el nombre de agujeros coronales. De estas zonas parten chorros de partículas cargadas que intensifican el viento solar.



En la corona, debido a su elevada temperatura, la emisión de rayos X es intensa. En consecuencia, estudiar la emisión de rayos X por parte del Sol significa explorar esta parte de la estrella central de nuestro sistema planetario.

temperaturas de decenas de millones de grados, en la superficie o, mejor dicho, en lo que nosotros llamamos superficie, que es la fotosfera, la temperatura es de sólo 6.000 °C.

Este comportamiento se explica fácilmente teniendo en cuenta que la energía producida por las reacciones nucleares que tienen lugar en la parte más interna del Sol se distribuye por esferas de radio cada vez mayor a medida que aumenta la distancia al núcleo. Por consiguiente, sería de esperar que en regiones todavía más exteriores las temperaturas fueran aún más bajas. Tal cosa, sin embargo, no ocurre. Medidas efectuadas en la corona han puesto de manifiesto que ésta se encuentra a temperaturas de uno o dos millones de grados.

Por tanto, hay que encontrar un mecanismo que explique cómo es posible que un gas caliente, la corona, se encuentre rodeando otro más frío.

DATOS

CORONA SOLAR*
Temperatura: $2 \cdot 10^6$ K
Densidad: $10^9 - 10^{10}$ part/cm^3

VIENTO SOLAR**
Temperatura: $14{,}1 \times 10^4$ K
Densidad: 10 part/cm^3

*cerca de la superficie solar
**a 1 u.a. de la superficie solar

LA EXPLICACIÓN DE UNA PARADOJA

El fenómeno que parece verificarse es el paso de calor de un cuerpo más frío (las capas densas del Sol) a otro más caliente y exterior (la corona), que aparentemente viola una de las leyes fundamentales de la física, el segundo principio de la termodinámica. Una de las posibles formulaciones de esta ley dice que el calor tiende a intercambiarse espontáneamente de los objetos más calientes a los más fríos.

Para explicar este comportamiento aparentemente paradójico, los físicos han elaborado dos teorías, aunque todavía se ignora cuál es la correcta.

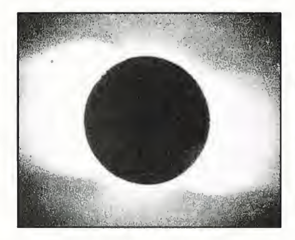
Según una de ellas, en el interior del Sol existen movimientos análogos a los terremotos terrestres, con propagaciones de ondas de diversas clases. El Sol es una gigantesca esfera de plasma, esto es, de gases cuyos electrones han sido arrancados de los átomos. La materia en estado de plasma permite la propagación de muchas ondas, desde las acústicas hasta otras mucho más complicadas, en las que no sólo se ve involucrada la materia sino también los campos electromagnéticos ligados al plasma. Dado que las ondas transportan energía, puede suceder que parte de ésta se disipe en la corona solar análogamente al modo en que las olas marinas erosionan la orilla.

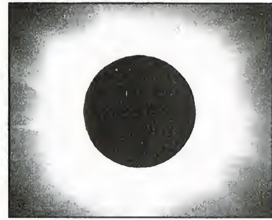
El segundo mecanismo invocado para explicar la altísima temperatura de la corona recurre a un fenómeno completamente distinto.

En la corona se generan a veces unos gigantescos anillos de plasma, los llamados «arcos coronales», entre los cuales circulan corrientes muy intensas; éstas formarían unos hilos que se atraerían recíprocamente. Al fundirse dos o más hilos de corriente se produciría una liberación de energía eléctrica que se convertiría en energía



Las auroras polares son creadas por flujos de partículas procedentes del Sol, emitidas por agujeros coronales o con ocasión de fulguraciones.





La forma de la corona varía notablemente durante el ciclo undecenal del Sol: es más regular durante el máximo de actividad solar (a la izquierda de estas líneas), período en que rodea casi uniformemente nuestra estrella, y muestra un aspecto más aplastado durante los mínimos (extremo izquierdo).

térmica del gas. De todos modos, antes de que esto ocurriera, parte de la energía eléctrica se habría transformado en calor por «efecto Joule», esto es, por efecto de la resistencia del medio al paso de corriente, análogamente a lo que sucede en las estufas eléctricas o en las resistencias de una tostadora de pan.

LA FORMA DE LA CORONA

La corona no muestra siempre el mismo aspecto; su forma varía con el paso del tiempo. Esto no debe extrañar, ya que un gas turbulento difícilmente mantendrá el mismo aspecto durante largos períodos.

Existen variaciones de forma más o menos acentuadas que se producen a distintas escalas temporales.

En general, los penachos y las estructuras de pequeño tamaño pueden variar en horas o días; el aspecto global de la corona, en cambio, varía en el transcurso de años.

Sabemos que el Sol tiene un ciclo de actividad que se repite con suficiente regularidad cada once años. La corona parece seguir este ciclo; a veces se presenta más simétrica y otras veces parece dotada de vistosos penachos y profundas lagunas. La mayor simetría se produce en períodos de máximo; en los de mínimo, la corona aparece aplastada sobre el plano ecuatorial solar, mientras que los polos de nuestra estrella corresponden a zonas en que casi desaparece.

Se puede explicar el fenómeno partiendo de que los gases coronales, precisamente por estar en estado de plasma, son fácilmente influidos por los campos magnéticos que se encuentran cerca de la superficie solar. Teniendo en cuenta que el aspecto más llamativo del ciclo undecenal de la actividad solar es la variación del campo magnético del Sol, no es extraño que exista una correlación entre dicho ciclo y las variaciones de forma de la corona.

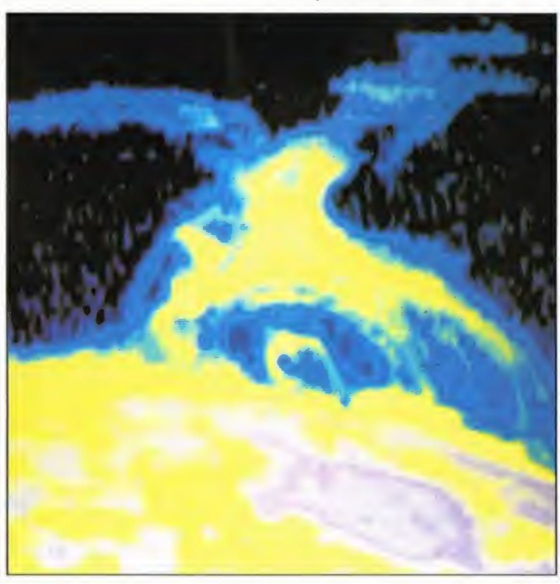
Lo que sucede es que durante el mínimo de actividad el campo magnético solar invierte su polaridad. El proceso es muy regular y el campo es similar al de un imán. No obstante, con el paso del tiempo las líneas de campo magnético son arrastradas por el plasma solar, que distorsiona su forma y las enreda. La corona solar sigue estas modificaciones: se mantiene confinada por el campo magnético en el plano ecuatorial durante los períodos de mínimo y se difunde alrededor del globo solar cuando aumenta la distorsión de las líneas de campo.

DISTINTAS ZONAS DE LA CORONA

Los astrónomos suelen dividir la corona en tres zonas concéntricas de distinto espesor.

La primera y más interna se extiende hasta poco más de un millón de kilómetros de la fotosfera, mientras que la segunda alcanza los dos millones; la parte más externa de la corona, en cambio, tiene unos límites más difíciles de establecer, ya que se va diluyendo por el espacio. Según algunas opiniones, el límite interior de esta región está dentro de la órbita de Mercurio; según otras, la propia Tierra se encontraría en el interior de la corona.

También la luz procedente de la corona está diferenciada. La primera componente deriva de la difusión de la luz fotosférica por parte del plasma más próximo al Sol y se caracteriza por un espectro continuo; su luz no difiere por su aspecto de la de una lámpara de incandescencia.



Para explicar la elevada temperatura de la corona solar se han invocado fenómenos de transformación de energía eléctrica en calor en unas estructuras en forma de arco, llamadas arcos coronales, similares a las protuberancias pero de mucho mayor tamaño.



Los cometas son gigantescos bloques de hielo «sucio» que al llegar a las cercanías del Sol liberan grandes cantidades de gas y polvo. Éstos son arrastrados lejos del Sol por el viento solar.

La segunda componente presenta las típicas rayas de absorción del espectro solar, las rayas de Fraunhofer.

Existe, por último, una fracción de la luz coronal en la que aparecen rayas emitidas por átomos fuertemente ionizados; se trata de átomos más pesados que el hidrógeno y el helio, dominantes en la composición del Sol y de su corona, que poseen muchos más electrones que estos dos elementos. Dichos átomos, entre los que figuran el hierro y el calcio, son despojados de buena parte de sus electrones en virtud de la altísima temperatura del medio en que se encuentran y emiten rayas muy difíciles de observar en los laboratorios terrestres, pues es muy complicado reproducir en la Tierra las condiciones típicas de la corona.

LA CORONA VISTA EN RAYOS X

Con la aparición de la astronomía X, esto es, de la rama de la astronomía que utiliza elementos sensibles a esta banda del espectro electromagnético, se descubrieron acentuadas inhomogeneidades en la corona. Los rayos X son producidos, entre otros mecanismos, por los gases a millones de grados, es decir, por los gases que se encuentran en las mismas condiciones que la corona solar. Ésta, por tanto, emite rayos X. Las observaciones en esta banda del espectro han puesto de manifiesto la existencia de los llamados «agujeros coronales», en los que la emisión de rayos X es bajísima.

Todavía no se sabe con exactitud por qué la corona muestra extensas zonas en las que la producción de rayos X es tan baja.

EL VIENTO SOLAR

Lo que está claro, sin embargo, es que en tales zonas de baja emisión se producen grandes cantidades de partículas cargadas, un flujo incesante que se propaga hacia las zonas más externas del sistema solar. Este flujo de partículas recibe el nombre de viento solar.

Podemos distinguir dos tipos de comportamiento en el viento solar. Existe una corriente de partículas que fluye regularmente desde el Sol hasta la periferia del sistema solar y que es producida por un fenómeno análogo a la evaporación: la corona, muy caliente, está formada por partículas que poseen una velocidad muy elevada, suficiente para permitirles escapar del campo gravitacional del Sol. Estas partículas pasan a formar parte del viento solar.

Existen, además, las partículas que consiguen escapar de la superficie solar a través de los agujeros coronales. Éstas forman un flujo más denso y dotado de mayor velocidad: la intensidad del viento solar aumenta con ocasión de estos chorros. También la actividad eruptiva correspondiente a las fulguraciones y las protuberancias puede generar chorros más intensos de viento solar.

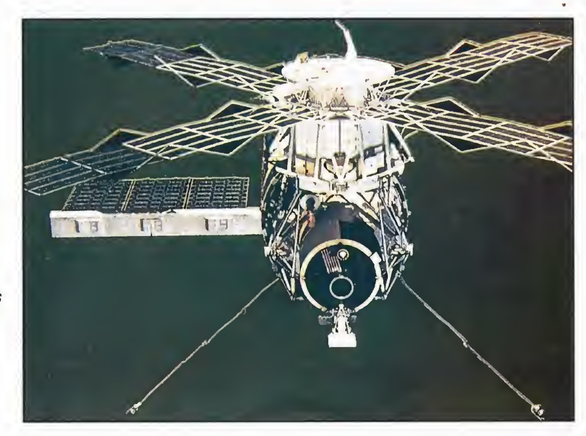
A la distancia de una unidad astronómica, esto es, a la misma distancia que media entre la Tierra y el Sol, el viento solar tiene una velocidad de unos 400 km/s, pero las ráfagas inducidas por los agujeros coronales u otros fenómenos la incrementan sensiblemente.

La composición del viento solar reproduce la del cuerpo que lo origina, el Sol. Por tanto, el viento solar está compuesto básicamente de protones y electrones, aunque también están presentes núcleos de helio y otros elementos.

No hay que pensar en el viento solar como en un viento similar al que nosotros

La corona es la parte más externa, muy tenue, de la atmósfera solar. Su densidad es aproximadamente 10^{11} veces menor que nuestra atmósfera.





La puesta en órbita del Skylab permitió observar con mayor detalle la emisión de rayos X por parte del Sol y, por tanto, disponer de mayor información sobre la estructura de la corona.

percibimos en la Tierra. De modo comparativo, la atmósfera terrestre es muy densa: mientras que la densidad de la atmósfera es de unos 10^{19} átomos por centímetro cúbico, el viento solar, a la distancia de la Tierra, consta de una decena de partículas por centímetro cúbico; es, por tanto, un trillón de veces menos denso que el aire que respiramos. No se consigue un vacío tan elevado en ningún laboratorio.

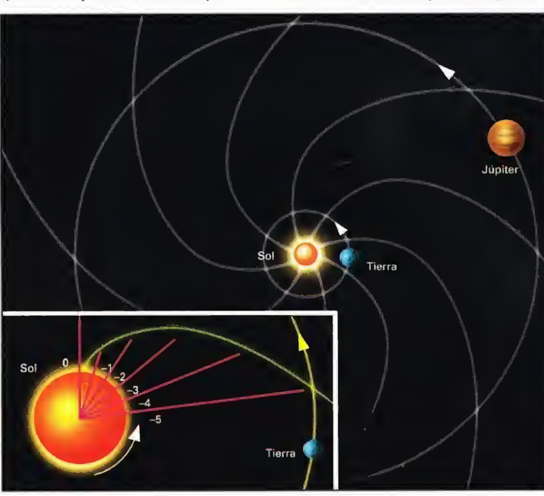
EFECTO DE LAS MAGNETOSFERAS PLANETARIAS

Al tratarse de una corriente de partículas cargadas, el viento solar es influido por los campos magnéticos que encuentra en su camino.

También el campo magnético terrestre altera el flujo de partículas procedentes del Sol. Naturalmente, existe asimismo una influencia del viento solar sobre el campo magnético, que resulta asimétrico y distorsionado.

El campo magnético de un planeta crea una región en la que el viento solar no puede penetrar. Recíprocamente, el viento solar modifica el campo magnético, confiriéndole una típica estructura en forma de gota. Es como si el viento solar ejerciese una presión sobre el campo magnético creado por los planetas, aplastándolo en la parte orientada hacia el Sol y alargándolo en la parte opuesta.

Las partículas del viento solar que llegan a las proximidades de la Tierra son desviadas por el campo magnético terrestre; no obstante, si tienen suficiente energía, pueden penetrar parcialmente en los estratos más altos de la atmósfera y chocar con los átomos que los componen. Esto es lo que sucede en las auroras boreales: las partículas emitidas por procesos que se producen en la superficie del Sol, como las fulguraciones, tienen una energía y una densidad mayores que la media del viento solar, por lo que penetran parcialmente en la atmósfera terrestre y chocan con sus partículas componentes, desencadenando procesos de emisión luminosa.



LA HELIOPAUSA, EL EXTREMO CONFÍN DEL SOL

Naturalmente, el viento solar no puede viajar indefinidamente por el espacio interestelar porque, tarde o temprano, las partículas entran en contacto con las partículas del medio interestelar, un gas muy tenue, y pierden su energía cinética. La zona en la que el viento solar se detiene se llama heliopausa y representa la «esfera de influencia» del Sol.

Se espera que algún día las sondas enviadas en los años setenta a explorar los planetas más externos del sistema solar nos den informaciones sobre la posición y la naturaleza de la heliopausa, uno de los extremos confines del sistema solar.

Está claro, sin embargo, que no podemos considerarnos «fuera» del Sol: a través de la corona y el viento solares, la Tierra viaja por el interior de la estrella que da luz y vida a nuestro planeta.

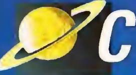
La corona, que está formada por partículas cargadas, arrastra consigo el campo magnético solar y se extiende por el espacio interplanetario adoptando una forma de molinete, debido al movimiento de rotación del Sol.

SUPERNOVAS HISTÓRICAS

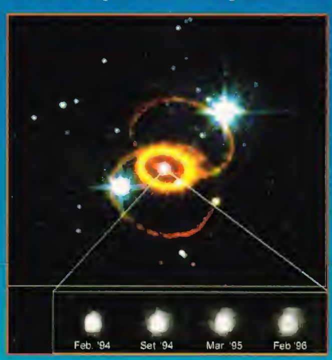
Las supernovas son estrellas que explotan de modo espectacular, aumentando su luminosidad miles de millones de veces. Por ello, en ocasiones son observables a simple vista. Las antiguas crónicas chinas, japonesas y árabes informan de una serie de sucesos de este tipo que despertaron gran expectación.



El remanente de supernova de la Vela (arriba a la derecha) se encuentra a una distancia de unos 6.000 años luz y se debe a la explosión de una estrella masiva ocurrida hace unos diez mil años. Su edad es mucho mayor que la de la supernova que dio origen a la nebulosa del Cangrejo. El hecho se puede inferir de la forma y la extensión de las nubes y el polvo dispersados por la explosión.



Cuando una estrella de gran masa agota el combustible nuclear cuya fusión la ha mantenido estable durante mucho tiempo, se encamina hacia el fin de su existencia, esto es, hacia su destrucción. El destino que le espera es una inmensa explosión (supernova del tipo II) en la que la estrella puede aniquilarse completamente o dejar un residuo, que puede ser una estrella de neutrones o un agujero negro. En ambos casos subsiste una nube de gas, llamada «remanente de supernova», de forma más o menos filamentosa. De todas maneras, lo que importa en este contexto es la explosión, que se produce de un modo repentino y violento. De pronto, la estrella se vuelve miles de millones de veces más brillante de lo que era en origen, hasta tal punto que en algunos casos su luminosidad supera incluso la de la galaxia a la que pertenece. Se dice entonces que la estrella se ha convertido en una supernova.



En 1987 explotó una supernova en la Nube de Magallanes, una de las galaxias satélite de la Vía Láctea. Se trata del primer suceso de este tipo acaecido en un lugar relativamente próximo desde que existen los telescopios. El estudio de la evolución del fenómeno ha confirmado en cierta medida las teorías de los astrofísicos, pero también ha suscitado algunos interrogantes todavía no resueltos.

RESEÑAS HISTÓRICAS

Estos sucesos tienen lugar con cierta frecuencia en las galaxias exteriores: cada año se observan decenas de supernovas fuera de nuestra Galaxia. En cambio, son extremadamente raras las que se detectan en nuestra Galaxia, la Vía Láctea. La última de que se tiene noticia se remonta a 1604. Los modelos teóricos sostienen que en la Vía Láctea debería explotar una supernova cada medio siglo, pero los hechos desmienten tal hipótesis. Es posible que alguna explote, pero si tal cosa ocurre en la otra parte de la Galaxia no podemos percibirlo, ya que nos lo impiden las nubes de gas y polvo del centro galáctico. También podría ser que las estimaciones fueran demasiado optimistas y que explotaran menos supernovas de lo que se piensa.

La última supernova de la que hablábamos, la de 1604, constituye una auténtica mofa, pues se produjo sólo cuatro años antes de la invención del telescopio. Con él se habrían podido observar las supernovas con mayor detalle y las correspondientes informaciones habrían sido valiosísimas incluso en nuestros días, pues estos sucesos son muy raros.

Por consiguiente, el estudio de las supernovas de nuestra Galaxia exige un examen más amplio de tipo histórico; es preciso echar un vistazo a crónicas antiguas para encontrar rastros. Los chinos, los japoneses, los coreanos y los árabes dejaron testimonios escritos de estos sucesos espectaculares, que causaban gran estupor y se interpretaban de acuerdo con las creencias míticas y religiosas del momento y del lugar. Se hablaba entonces de «estrella huésped» o de «estrella nueva» porque estas poblaciones veían aparecer de improviso una estrella muy brillante cuya luminosidad rivalizaba con la de los planetas

凡十一日沒三年三月乙巳出東南方大中祥符四
年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅
前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執
法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁沒明道元
年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三
日沒至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘
稍沒熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯
箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月
辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸
酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

A la izquierda, la página del tratado Sung en la que se informa del avistamiento de la supernova de 1054. Los chinos observaron la supernova durante varias semanas, y anotaron su posición y su brillo. Su descripción permitió identificar el remanente que todavía subsiste de aquel suceso catastrófico, la nebulosa del Cangrejo, situada en la constelación de Tauro.

o incluso con la de la Luna en cuarto creciente en una región del cielo en la que anteriormente no había nada digno de reseñar.

En total existen unas diez reseñas históricas de supernovas galácticas; algunas de ellas son absolutamente fidedignas y otras menos, dado que en algunos casos pudo haberse tratado de una simple nova, una enana blanca perteneciente a un sistema doble que más o menos periódicamente aumenta de luminosidad a causa de la ignición del material transferido por la compañera.

LA REINA DE LAS SUPERNOVAS

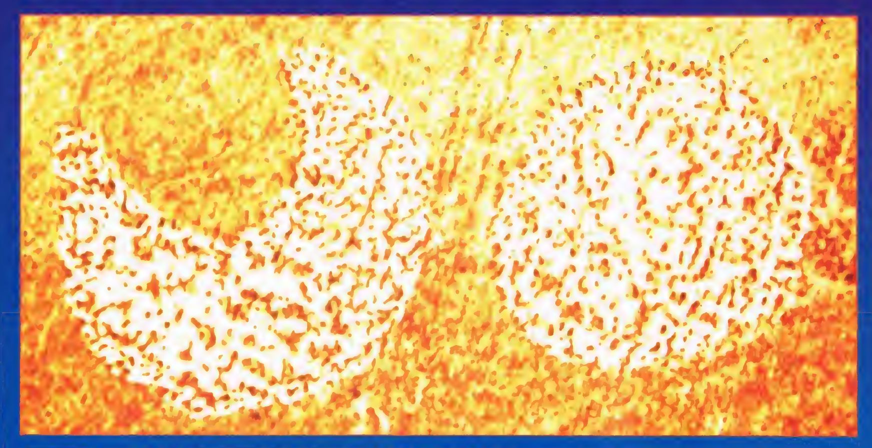
La supernova de la que se tienen más noticias históricas es sin duda la que explotó en 1054 en la constelación de Tauro. Se efectuaron observaciones y registros del suceso en China, Corea y, de modo cualitativamente inferior, en Japón y Armenia. En el tratado astronómico chino *Sung-shih* (esto es, *Historia de la dinastía Sung*) se lee en la fecha correspondiente a nuestro 4 de julio de 1054: «Ha aparecido una estrella huésped al sureste de T'ien-kuan. Al cabo de algo más de un año ha ido desapareciendo poco a poco». En los anales imperiales del *Sung-shih*, se lee con fecha 6 de abril de 1056: «El director del servicio astronómico notifica que en julio de 1054 una estrella huésped apareció por la mañana hacia el este, se estacionó cerca de T'ien-kuan y ahora ha desaparecido». También, en el *Sung-hui-yao (Elementos esenciales de la historia Sung)*, con fecha correspondiente al 27 de agosto de 1054, el astrónomo Yang Wei-te anotó lo siguiente: «Observo humildemente que ha aparecido una estrella huésped; encima de ella hay una débil chispa de color amarillo. Por lo que respecta a las predicciones sobre la persona del Emperador, la interpretación es la siguiente: el hecho de que la estrella huésped no se oponga a Pi y que su resplandor sea lleno significa que es persona de gran valor». Los chinos observaron la supernova durante 23 días a partir del 4 de julio.

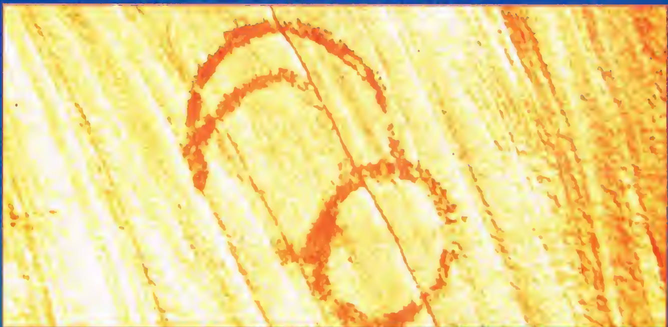
Hay otros dos registros, también chinos: uno en una crónica Sung no oficial, con el impronunciable nombre de *Hsu-tzu-chin-t'ung-chien-ch'ang-pien*, y el otro en una historia del reino de Liao (un reino seminómada de la parte más septentrional de China), pero son menos exactos que los anteriores. Hay por último una noticia japonesa, contenida en el diario de Fujiwara, que dice lo siguiente: «Después de la década media del cuarto mes lunar (correspondiente a los días que siguen al 29 de mayo), entre la una y las tres de la madrugada apareció una estrella huésped entre los grados de Tsui y de Shen. Permaneció visible al este y salió en T'ien-kuan. Tiene el tamaño de Júpiter». T'ien-kuan es la estrella Zeta Tauri.

Parece que la explosión de esta supernova no fue observada por los árabes, aunque una nota del médico Ibn Butlan la menciona brevemente desde Constantinopla para relacionarla con una epidemia. La última referencia procede de Armenia. Según ella, se observó una estrella nueva hacia mediados de mayo de 1054. En el año 716 del calendario juliano, los armenios observaron la explosión de una estrella muy luminosa que pudo haber sido una supernova. Pero la escasa precisión en la descripción de la posición y la evolución del suceso no permite afirmarlo con seguridad.

Abajo, un antiguo mapa celeste chino. Los chinos anotaron con gran precisión los sucesos astronómicos, especialmente los transitorios, como los eclipses, al paso de cometas, los enjambres de meteoritos y la aparición de «estrellas nuevas». La investigación de los anales históricos en los que se describen estos fenómenos es todavía de gran utilidad para los astrónomos.







Estas representaciones sobre piedra halladas en Arizona (arriba y a la izquierda) representan probablemente la explosión de la supernova que dio origen a la nebulosa del Cangrejo: en ambas figuras se representa la supernova junto a la hoz de la Luna. En 1054, época de la explosión, la supernova se encontraba en conjunción con la Luna.

OTRAS OBSERVACIONES

La más antigua de las supernovas históricas es la que se observó en el año 185 en la constelación del Centauro. Su luminosidad rivalizaba con la de la Luna en cuarto creciente. También fue vista el 7 de diciembre a pesar de salir casi al mismo tiempo que el Sol. El registro chino, con fecha del 7 de diciembre, dice así: «Apareció una estrella huésped en la constelación de Nan-men [cerca de las actuales Alfa y Beta Centauri]. Era luminosa, multicolor y centelleante. Su brillo fue disminuyendo gradualmente y el objeto desapareció en el sexto mes del año siguiente. Según las predicciones normales, esto significa insurrección».

Los chinos también observaron una supernova en el año 393 en la constelación de Escorpión, pero las informaciones que dieron son imprecisas. La de 1006, en la constelación del Lobo, fue observada con detalle por los árabes. Fue mucho más brillante que la de 1054 y fue observada también en el Extremo Oriente y en Europa por todas las poblaciones que vivían al sur de una latitud próxima a +40. Una supernova que explotó en 1181 pasó inadvertida en Occidente y las informaciones que de ella se tienen proceden de las crónicas chinas y japonesas.

La de 1572 se llama también supernova de Tycho porque el célebre astrónomo danés Tycho Brahe hizo estimaciones de su luminosidad en su obra *De Stella Nova.* La de 1604 en Ofiuco, en cambio, fue largamente observada por Johannes Kepler. Sus estimaciones se encuentran en el volumen *De Stella Nova in Pede Serpentarii.* Reconstruyendo y reuniendo todas las observaciones sobre esta última, se deduce que se hizo súbitamente visible



Durante mucho tiempo, los árabes fueron los mejores observadores astronómicos de la cuenca mediterránea. Recogieron la herencia de la astronomía griega y produjeron muchos talentos astronómicos, sobre todo entre los siglos X y XV. En Occidente, durante el mismo período, no se registró ningún progreso astronómico. Hubo que esperar para ello al siglo XV, con la traducción al latín del Almagesto de Tolomeo.

el 8 de octubre de 1604 y que su luminosidad máxima, alcanzada al cabo de una semana, fue comparable a la del planeta Venus. Luego, con el paso de los meses, se fue debilitando hasta que, cerca de un año después, dejó de ser perceptible a simple vista. Este suceso también fue anotado con precisión por los astrónomos coreanos en tiempos de la dinastía Yi, que reinó en el país de 1392 a 1910, y por los astrónomos chinos.

LAS PRUEBAS ACTUALES

En nuestros días, podemos tratar de confirmar las explosiones de supernovas reseñadas en la Antigüedad identificando los restos. Como se ha dicho, las supernovas dejan tras de sí una nube de material difuso, el remanente de supernova, que se dispersa lentamente por el espacio disolviéndose de modo gradual pero permaneciendo visible durante un período del orden de 100.000 años. Se puede intentar comprobar si existen remanentes de supernovas en los lugares del cielo en los que se observaron las explosiones citadas. Para ello, es necesario que su posición aparezca con suficiente precisión en los anales antiguos, cosa que no siempre sucede.



Los registros astronómicos debidos a los antiguos son de enorme importancia para el estudio de las supernovas, unos objetos observables a simple vista y fácilmente identificables, más o menos como los cometas. En esta fotografía se reproduce un mapa del cielo de 1395, en el que se indican las estrellas y las constelaciones principales. La banda blanca de forma semicircular representa la Vía Láctea.



Se han identificado como radiofuentes la supernova del 185, asociada al objeto RCW 86, y la de 1006, asociada a PKS 1459-41. Esta última es una fuente de radioondas y de rayos X. No es visible ninguna estrella de neutrones en su interior y la forma del remanente, con una estructura de cáscara, sugiere que fue una supernova de tipo I. Recordemos que las supernovas se dividen en los tipos I y II según que en su espectro se encuentren o no las rayas del hidrógeno.

La supernova de 1054 ha sido identificada como la que generó la famosa nebulosa del Cangrejo (M1 del catálogo de Messier). En su interior es claramente visible una estrella de neutrones en rápida rotación que emite radioondas: se trata de un púlsar. También la supernova de 1181 tiene su contrapartida, la radiofuente 3C58, pero no se observa en la zona ninguna nebulosa.

Por último, las supernovas de 1572 y 1604 están asociadas a los remanentes llamados,

Entre las supernovas históricas ocupa un lugar especiel la de 1054, que hoy sa manifiesta como un remenente claramente visible, conocido como nebulosa del Cangrejo. Sebemos con exectitud cuándo explotó la supernove en cuestión. Actualmente, dentro del remanante se obsarva la presencia da un púlsar, esto es, una estrella de neutrones en rapidísima rotación, con un período de sólo 0,0331 segundos.

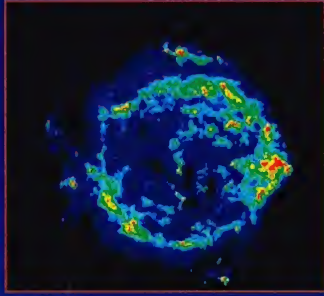
LAS SUPERNOVAS HISTÓRICAS

FECHA	CONSTELACIÓN	MAGNITUD	DURACIÓN	TESTIMONIOS
185	Centauro	–8	20 meses	C
386	Sagitario	?	3 meses	C
393	Escorpión	–1	8 meses	C
1006	Lobo	–9	muchos meses	ACJE
1054	Tauro	–5	22 meses	ACKJ
1181	Casiopea	0	6 meses	CJ
1408	Cisne	–3	indeterminada	CJ
1572	Casiopea	–4	18 meses	CKE
1604	Ofiuco	–3	12 meses	CKE
hacia 1670	Casiopea	de este suceso no hay ningún testimonio		

C = chinos, J = japoneses, K = coreanos, E = europeos, A = armenios.



Esta sugestiva imagen, del remanente de supernova conocido como «Cygnus Loop», fua tomada en febrero de 1995 por la cámara de gran abertura (Wide Field Planetary Camera) del telescopio espacial Hubble.



Se calcula que la supernova que produjo el remanente denominado Casiopea A explotó entre 1650 y 1700. No obstante, no hay constancia histórica alguna del suceso. Casiopea A, que tiene un tamaño del orden de 4 parsecs, es la radiofuente más intensa del hemisferio norte celeste y también constituye una fuente de rayos X.

respectivamente, de Tycho y de Kepler. En cambio, la del 393 no ha sido identificada con ningún remanente de supernova a causa de la incertidumbre de su posición.

UN CASO ANÓMALO: CASIOPEA A

La observación actual de los remanentes de supernova permite a los astrónomos remontarse a la época de la explosión de la estrella. Midiendo la velocidad con que se expanden dichas nubes y proyectando hacia atrás en el tiempo dicho movimiento, se puede reconstruir aproximadamente la edad. Los remanentes identificados de supernovas históricas concuerdan razonablemente con los registros mencionados en los textos antiguos. Por ejemplo, midiendo el ritmo de expansión de la nebulosa del Cangrejo se ha comprobado que debió de empezar hace nueve siglos, precisamente en el siglo XI, como señalan las crónicas. Existe, sin embargo, un caso misterioso relativo a un resto de supernova visible en la constelación de Casiopea y conocido como Casiopea A, el cual parece derivar de la explosión de una supernova que tuvo lugar hacia 1670. De este suceso, sin embargo, no hay rastro alguno en las observaciones antiguas.

A LA ESPERA DE LA PRÓXIMA...

Los astrónomos están pendientes de la explosión de una supernova en nuestra Galaxia. Con los modernos instrumentos se podrían seguir las distintas fases del suceso y su evolución temporal, lo cual permitiría obtener informaciones detalladas sobre la curva de luz de la supernova (la variación de la magnitud con el tiempo), sobre su emisión de energía y sobre su estrella progenitora.

De momento debemos contentarnos con una supernova que explotó en nuestras proximidades, aunque no en la Vía Láctea. Se trata de la SN 1987A, avistada en la Gran Nube de Magallanes, una de las dos galaxias más próximas a la nuestra (la otra es la Pequeña Nube). El suceso ha conmocionado muchas ramas de la astrofísica, como la que se ocupa de la detección de neutrinos. Se han logrado detectar neutrinos emitidos por supernovas; estas partículas sólo habían sido descubiertas en la emisión solar y en las interacciones de los rayos cósmicos con la atmósfera.

LA SUPERNOVA 1885

En 1885 se detectó la primera supernova desde la invención del telescopio, descubierta por la baronesa Berta de Podmaniczky la noche del 22 de agosto. En aquella época, hospedaba en su casa de campo húngara al astrónomo Ralph de Koveslígethy, que había llevado consigo su anteojo de 9 cm de diámetro. Aquella «estrella nueva», de sexta magnitud, aparecía en lo que entonces se llamaba «nebulosa de Andrómeda» y estaba destinada a revolucionar la astronomía de la época. Los astrónomos se dieron cuenta de que, para que la estrella se manifestara con tanta intensidad, debía verificarse una de las dos hipótesis siguientes: o bien la nebulosa de Andrómeda estaba relativamente cerca (para entendernos, dentro de la Vía Láctea), como hasta entonces se creía, o la estrella brillaba con una intensidad equivalente a la de 50 millones de soles, un valor diez mil veces superior al de las novas conocidas hasta entonces. Esta posibilidad fue considerada poco probable, pero dio lugar a una serie de estudios e investigaciones que treinta y cinco años más tarde propiciaron que Edwin Hubble estableciera más allá de toda duda que la galaxia de Andrómeda es una galaxia externa y alejada de la nuestra y que el universo está formado por cientos de miles de millones de galaxias similares a la Vía Láctea.

CAMALEÓN-PEZ VOLADOR

Las constelaciones del Camaleón y del Pez Volador se encuentran cerca del polo Sur celeste.



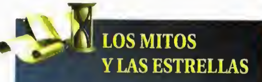
El Pez Volador y el Camaleón son dos pequeñas constelaciones poco llamativas, situadas en una región de la bóveda celeste próxima al polo celeste meridional.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

Las estrellas que componen estas dos constelaciones son todas de cuarta magnitud o más débiles, lo cual dificulta su localización en el cielo.

Para encontrar las dos constelaciones conviene partir de otra muy brillante y fácilmente reconocible: la Cruz del Sur; prolongando en dirección al polo Sur celeste la recta que une las estrellas Alfa y Gamma, llegaremos a las proximidades de la estrella Beta de la constelación del Camaleón. El vecino Pez Volador está situado al noroeste de ésta.

Alternativamente, podemos llegar a estas constelaciones moviéndonos a lo largo de los paralelos celestes a oriente, esto es, hacia la izquierda, de las vecinas constelaciones de la Mesa y la Carpa Dorada.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

CAMALEÓN-PEZ VOLADOR

Ni el Camaleón ni el Pez Volador están asociados a leyendas.

El origen de estas dos constelaciones se remonta a fines del siglo XVI.

Fueron introducidas por los holandeses Frederick de Houtman y Pieter Dirkszoon Keyser.

La constelación del Pez Volador era conocida inicialmente con el nombre latino de *Piscis Volans*.

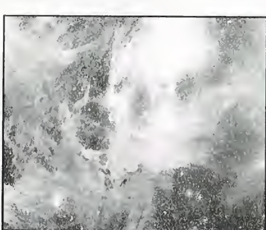
El primer atlas celeste en el que figura esta constelación es el de Bayer (1603).

ESTRELLAS PRINCIPALES

El astro más brillante es la estrella Beta del Pez Volador (magnitud 3,8), una estrella anaranjada que dista unos ochenta años luz.

En la misma constelación encontramos una estrella doble, Gamma, formada por un par de astros de magnitudes 3,9 y 5,8, fácilmente resolubles incluso con pequeños instrumentos. Su separación es de unos 13''.

También Épsilon es una estrella doble, pero sus componentes son un poco más difíciles de resolver pese a estar al alcance de los instrumentos de aficionado. Se trata de dos estrellas de magnitudes 4,5 y 8,1, situadas a una distancia de 6''. La más luminosa es de color azul.



Fotografía de la nebulosidad en la constelación del Camaleón, obtenida con un telescopio Schmidt de 1,2 m.

Una tercera estrella doble es Kappa, formada por dos estrellas (magnitudes 5,4 y 5,7) separadas por más de 1'.

Los astros del Camaleón son igual de débiles; Alfa es la estrella más luminosa de la constelación (magnitud 4,1) y brilla con luz blanca.

Casi de la misma luminosidad –sólo unas centésimas de magnitud más débil– es Gamma, una estrella anaranjada situada a 260 años luz de nosotros.

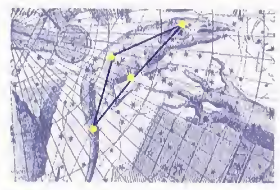
También en el Camaleón encontramos estrellas dobles: Delta está formada por dos objetos, llamados Delta 1 (magnitud 5,5) y Delta 2 (magnitud 4,5), que no están ligados gravitacionalmente, ya que se encuentran respectivamente a 370 y 550 años luz de la Tierra. Bastan unos prismáticos para distinguirlas.

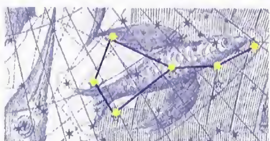
Épsilon es otro par, más difícil de separar, que requiere aberturas superiores a los 15 cm; sus magnitudes son 5,5 y 6,3.

OBJETOS DE LAS CONSTELACIONES

Si la observación de las estrellas de estas constelaciones es decepcionante, otro tanto cabe decir de los objetos que contiene.

No hay que señalar astros particularmente interesantes, con la excepción de una nebulosa planetaria, NGC 3195, situada entre las estrellas Delta y Zeta del Camaleón, cerca del límite sur de la constelación.





El Camaleón y el Pez Volador representan dos de los animales más singulares de la Tierra. El primero es conocido por su capacidad mimética y el segundo por su habilidad para volar fuera del agua.

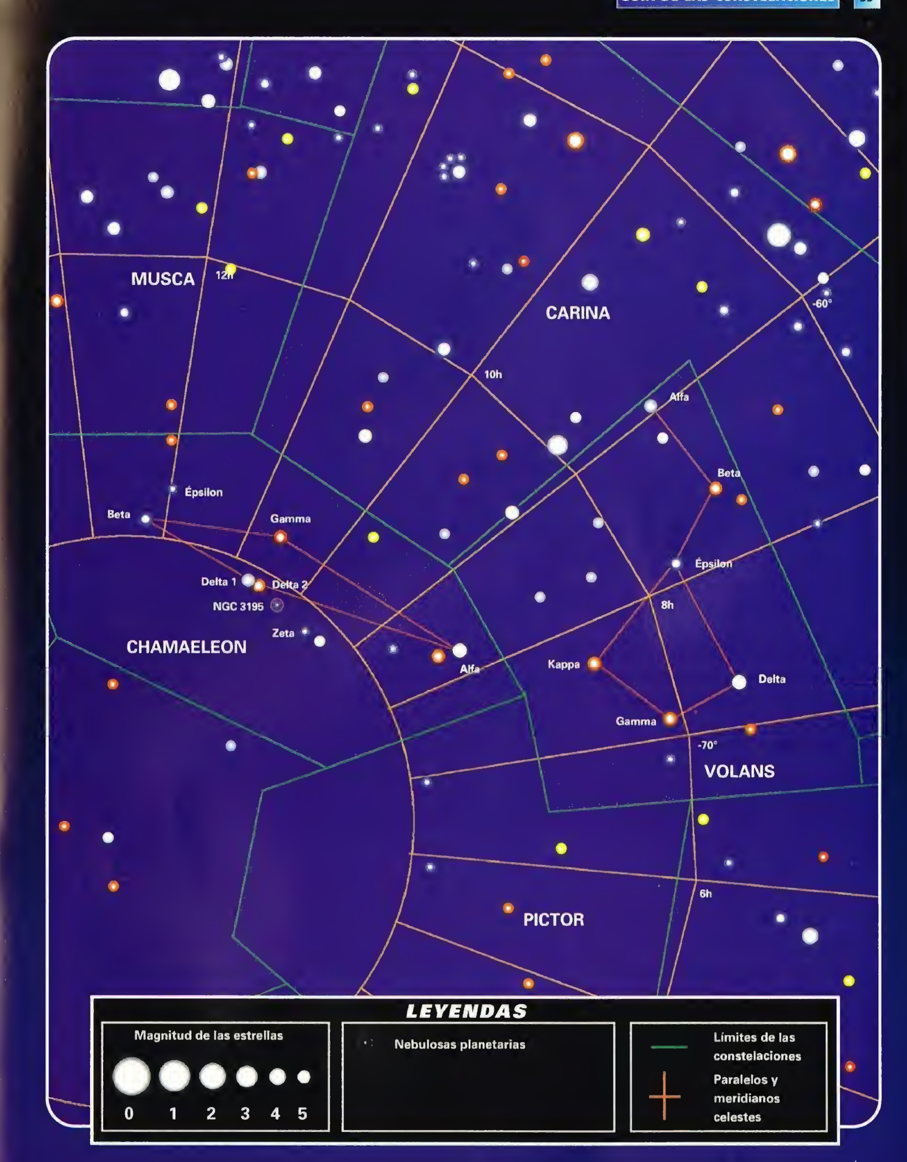
DÓNDE BUSCARLAS

CAMALEÓN-PEZ VOLADOR

Las constelaciones del Camaleón y del Pez Volador no son observables desde latitudes como las de España porque su declinación es demasiado meridional. Debido a la baja luminosidad de las estrellas que las componen, su localización es bastante compleja..

El Camaleón abarca una región del cielo comprendida entre las 7 horas 40 minutos y las 13 horas 35 minutos de ascensión recta, y entre –75 y –82° de declinación.

El Pez Volador está limitado por las 6 horas 35 minutos y las 9 horas de ascensión recta, y entre –64 y –75° de declinación.


MUSCA
12h
CARINA
-60°
10h
Alfa
Beta
Épsilon
Beta
Gamma
Épsilon
Delta 1
Delta 2
NGC 3195
8h
Zeta
CHAMAELEON
Alfa
Kappa
Delta
Gamma
-70°
VOLANS
6h
PICTOR
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Nebulosas planetarias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

DETECTORES CCD

Los detectores CCD han sustituido a las más tradicionales, pero ya superadas, placas fotográficas. Fruto de la moderna tecnología, registran las imágenes astronómicas directamente en forma digital.

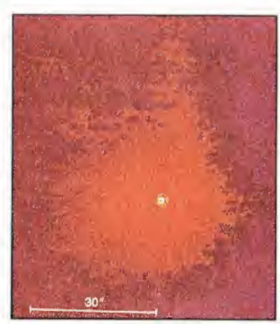


En los 15 últimos años, las placas fotográficas se han ido sustituyendo progresivamente como detectores de imágenes astronómicas por otros detectores de estado sólido más dúctiles y prácticos. Se trata de los llamados CCD, ideados hace unos 25 años por Boyle y Smith, dos investigadores de los prestigiosos laboratorios Bell. La difusión de este tipo de detectores ha corrido paralela con el empleo de ordenadores para el análisis de los datos astronómicos. Las imágenes registradas por los CCD están en forma digital y pueden ser leídas fácilmente por un ordenador, que las reconstruye y analiza.

CÓMO FUNCIONAN LOS CCD

Idealmente, un detector CCD (acrónimo de Charge Coupled Device) puede considerarse como un mosaico compuesto por unos elementos más pequeños, llamados pixels, cada uno de los cuales registra una pequeña parte de la imagen. La luz recogida por un telescopio converge hacia su plano focal, donde incide sobre el CCD e, interactuando con la capa de silicio que recubre los pixels, libera un flujo de electrones a través de un proceso conocido como efecto fotoeléctrico. Estas cargas eléctricas se miden y se convierten en secuencias numéricas, las cuales se almacenan en la memoria de un ordenador y se transforman oportunamente en un formato visualizable. Precisamente el hecho de codificar las imágenes en secuencias numéricas permite la aplicación de las técnicas de análisis mediante oportunos programas informáticos y facilita su gestión.

La capacidad de un CCD para interceptar fotones procedentes de una fuente celeste observada y para generar un número proporcional de cargas eléctricas depende de sus características físicas y varía, por tanto, con el modelo utilizado. Dicha capacidad se describe mediante una función matemática, llamada eficiencia cuántica, que representa el porcentaje de cargas eléctricas producidas respecto al número de fotones que inciden en el detector. Obviamente, un CCD ideal debería tener una eficiencia cuántica del 100%, pero en la práctica ésta raramente rebasa el 80%. Además, la eficiencia cuántica no es constante para un determinado CCD, sino que depende de la longitud de onda de la luz incidente. El número de cargas eléctricas producidas en cada pixel varía

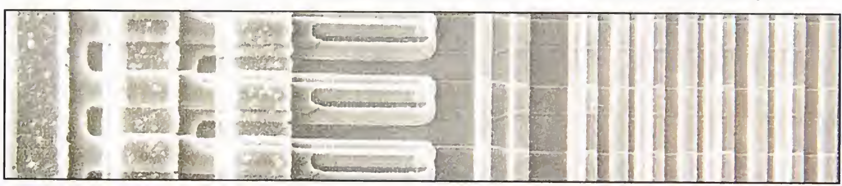


Observación del cometa Halley en enero de 1989, realizada con los detectores CCD de los telescopios del ESO.

LA EFICIENCIA CUÁNTICA DE UN CCD

La eficiencia del efecto fotoeléctrico crece considerablemente en la región de la luz visible (la comprendida entre 4.000 y 7.000 angströms), con un máximo en torno a los 6.500 angströms. A longitudes de onda inferiores a 4.000 angströms, los fotones son parcialmente absorbidos por los demás componentes del CCD y la eficiencia cuántica cae bruscamente hasta valores del orden del 5%. El problema de la absorción es crítico en el ultravioleta (< 3.000 angströms), donde basta un espesor de 30 angströms para absorber el 63% de la luz que incide sobre el CCD. El problema puede evitarse añadiendo una capa de fósforo que absorbe los fotones de longitud de onda inferior a 4.600 angströms y los reemite a una longitud de onda superior (5.200 angströms). Aunque cerca de la mitad de éstos se pierden, se obtiene una eficiencia cuántica aceptable, del orden del 15%.

Abajo, microcircuito de un CCD para imágenes de 1.500 aumentos. Las bandas verticales más elevadas son electrodos que controlan el movimiento de las cargas hacia lo alto a través de los canales.



con la longitud de onda de los fotones. Para un determinado material, el efecto fotoeléctrico sólo tiene lugar si el fotón posee una energía suficiente y, por tanto, una longitud de onda bien definida. En el caso del silicio, la energía mínima del fotón debe ser de 1,13 electronvoltios, que



corresponde a una longitud de onda de 11.000 angströms. Los fotones de longitud de onda mayor no tienen suficiente energía para desencadenar el efecto fotoeléctrico y pasan por el CCD sin dejar rastro. Los fotones de longitud de onda inferior a 11.000 angströms, en cambio, tienen una energía superior y liberan electrones cada vez más eficazmente.

Otra característica importante de un CCD es la capacidad de acumular cargas eléctricas durante la observación. Cuanto menor es la dispersión de la carga tanto mayor es la precisión con la que se puede reconstruir la imagen. Una vez recogida

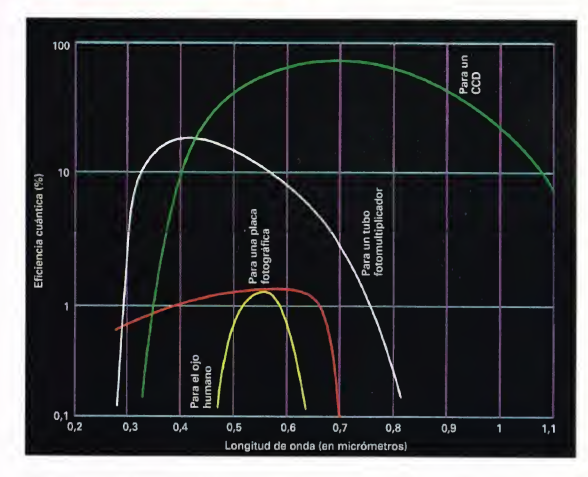
La observación CCD de la izquierda representa el objeto M27.

Imagen de la galaxia espiral M51 tomada con una cámara CCD. Cada punto corresponde a un pixel.

en un determinado pixel, la carga eléctrica debe transferirse a la unidad de lectura. Naturalmente, parte de las cargas se pierden durante el proceso y la fidelidad con la cual un CCD consigue registrar la señal luminosa de un cuerpo celeste depende del porcentaje de cargas «supervivientes», que para los CCD más perfeccionados puede ser muy próxima al 100%.

CARACTERÍSTICAS DE LOS CCD

La superficie de un detector CCD, y por consiguiente también la región de cielo que

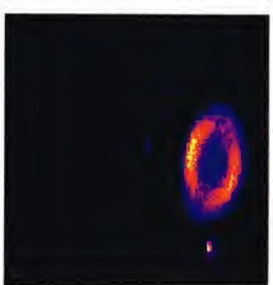


Eficiencia cuántica en función de la longitud de onda para algunos dispositivos, entre ellos los CCD.

consigue encuadrar, está determinada por el número de pixels que lo forman y por el tamaño de cada uno de ellos, que caracterizan también la resolución angular.

Los primeros CCD estaban formados por un número limitado de pixels de tamaño relativamente grande. Un moderno detector CCD para uso científico, en cambio, está formado en promedio por 2.048 × 2.048 pixels, cada uno de 24 micras. El mayor CCD actualmente en fase de experimentación en los laboratorios de investigación Philips consta de 7.000 × 9.000 pixels (un total de 63 millones), de 12 micras cada uno, pero están en estudio detectores todavía mayores.

Imagen de la conocida nebulosa planetaria M57, tomada con un CCD.



ALGUNOS PROBLEMAS

Aunque técnicamente factible, la realización de un CCD de notables dimensiones comporta numerosos problemas prácticos. Cuanto más grande es la imagen CCD, mayor es la cantidad de memoria necesaria para almacenar en un ordenador la información contenida en una sola imagen. Por ejemplo, una imagen normal de 2.048 × 2.048 pixels ocupa unos 8 Megabytes de memoria, mientras que una de 4.096 × 4.096 ocuparía 32, valor que hay que multiplicar al menos por 20, el número de imágenes tomadas por un astrónomo en una noche. Además, imágenes cada vez mayores requieren ordenadores dotados de una potencia de cálculo cada vez más elevada.

Desde el punto de vista instrumental, con el crecimiento del tamaño de la imagen crece también el tiempo que el sistema de registro de datos emplea en leer el CCD. Por ejemplo, el sistema de registro del telescopio Hubble tarda varios minutos en hacer una lectura completa de los 4 chips CCD (de 800 × 800 pixels cada uno) que componen la Wide Field Planetary Camera, durante los cuales el instrumento no puede ser utilizado para realizar otras observaciones.

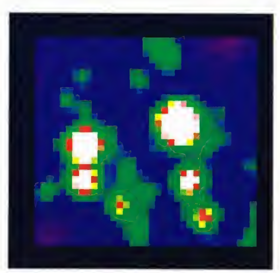
Esta pérdida de tiempo es todavía mayor cuando la observación se subdivide en exposiciones de duración inferior para eliminar señales espúreas debidas a los rayos cósmicos. En tal caso, el tiempo muerto queda multiplicado por el número de observaciones.

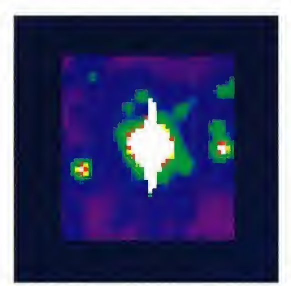
El campo de un detector CCD se subdivide en pixels cuadrados. Por consiguiente, la imagen producida por la exposición a la fuente se fragmenta en pixels, cada uno de los cuales recoge la carga producida por la fuente en la posición correspondiente.

EL EFECTO DE LOS RAYOS CÓSMICOS SOBRE LOS CCD

Por sus propias características, los detectores CCD son extremadamente sensibles a la acción de las radiaciones ionizantes, como por ejemplo los rayos cósmicos. Al interactuar con un CCD, estos rayos provocan la emisión de cargas eléctricas que dan origen a señales artificiales. Afortunadamente, existen técnicas para discriminar las señales debidas a los rayos cósmicos de las señales «verdaderas», debidas a la luz procedente de la fuente que se está observando. Los rayos cósmicos descargan su energía en no más de 3-4 pixels, por lo que su señal tiene una forma muy aguda, muy distinta de la que corresponde a una estrella o a una galaxia, cuya señal se distribuye por una superficie mucho mayor. Por ello, estas señales son fácilmente reconocibles y eliminables analizando la imagen CCD por medio de determinados programas informáticos.

Un método más simple para eliminar dichas señales consiste en tomar exposiciones sucesivas de la misma región del cielo. Dado que es estadísticamente improbable que un rayo cósmico caiga siempre sobre el mismo pixel (a diferencia de lo que ocurre con la luz de una estrella), es posible identificar como debida a un rayo cósmico una señal observada, por ejemplo, en la primera exposición, comprobando que no se reproduce en las siguientes exposiciones.





Así es como aparece en un CCD la imagen de una estrella que presenta problemas de saturación; la carga producida en el detector por los fotones incidentes se dispersa por los pixels adyacentes, formando la típica difuminación que se advierte en la figura.

LA RESOLUCIÓN DE UN CCD

La resolución angular de un CCD viene dada por el ángulo (medido en segundos de arco) subtendido por la proyección de un pixel sobre la esfera celeste. Obviamente, cuanto más pequeño es el pixel, menor es su proyección y mayor la resolución angular del CCD. En los CCD utilizados hace unos 15 años, los pixels tenían un tamaño (proyectado) un poco inferior al segundo de arco. Pero bastaron diez años para progresar en un factor 100. Los pixels de la Faint Object Camera del telescopio espacial Hubble miden sólo 14 milésimas de segundo de arco.
Obviamente, un CCD ideal debería estar formado por pixels muy pequeños, con objeto de tener una elevada resolución angular, y lo bastante numerosos como para cubrir una amplia región del cielo. Pero problemas prácticos fijan el número máximo de pixels de los CCD. Según los casos, hay que arbitrar distintos compromisos entre las soluciones. Por ejemplo, pixels de mayor tamaño permiten al CCD encuadrar un campo más amplio pero con una resolución angular inferior. Inversamente, pixels más pequeños dan una resolución angular superior pero con un campo mucho más limitado.

Para reducir estas pérdidas de tiempo, algunos CCD van provistos de distintos sistemas de lectura capaces de trabajar en paralelo; cada uno se encarga de una zona distinta.

Pero como sucede a menudo en el campo de la tecnología, esta solución tiene sus contraindicaciones. Un CCD de este tipo es más complejo y de más costosa realización que uno normal, y crea además el problema de reunir coherentemente los datos leídos por cada uno de los sistemas; requiere, por lo tanto, sistemas especiales de análisis de datos. Pero el impresionante desarrollo de las prestaciones de los ordenadores en los últimos años presagia el inminente empleo de esta nueva generación de CCD.

EL ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES CCD

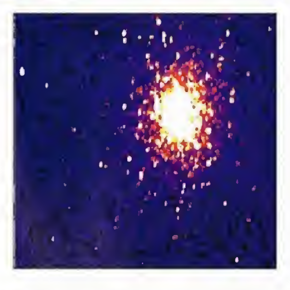
Una vez registrada en el CCD la imagen de la región del cielo deseada, comienza un largo, delicado y a veces engorroso proceso de eliminar todos los efectos instrumentales que comprometen su calidad.

Todos los CCD sufren perturbaciones que surgen en la fase de adquisición y lectura de datos.

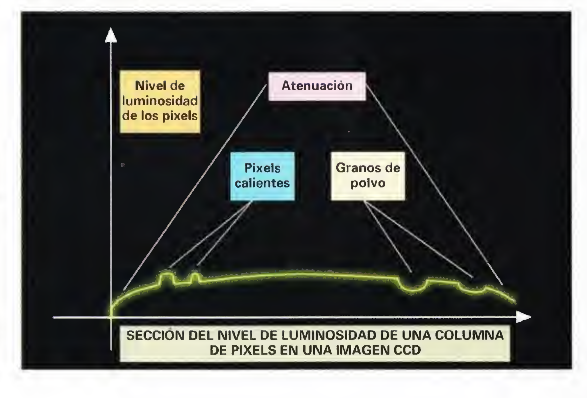
Como hemos visto, en un CCD la imagen se registra mediante la creación de cargas eléctricas en los pixels. Pero también pueden liberarse cargas parásitas como consecuencia de la agitación térmica de los electrones del silicio. Estas cargas se superponen a las cargas «genuinas» producidas por la fuente celeste observada. El efecto suele minimizarse enfriando el CCD.

Las cargas parásitas se eliminan realizando una exposición «a oscuras» del CCD, con el obturador cerrado durante un tiempo igual a la exposición prevista para la imagen científica. El número de cargas de la exposición «a oscuras» coincide con el número de cargas parásitas de la exposición científica; para eliminarlas basta restar las dos imágenes pixel por pixel.

Una vez eliminadas las cargas parásitas, hay que hacer una última operación. La respuesta de un CCD (número de electrones producidos por número de fotones incidentes) no es uniforme sino que varía de un pixel a otro. La calidad de la imagen científica se resentirá de estas inhomogeneidades. Para corregir el efecto se determina experimentalmente la respuesta de los distintos pixels exponiendo el CCD a una fuente de luz uniforme. Con este procedimiento se obtiene el llamado «campo plano».



A la derecha, exposición CCD del cúmulo globular M13, situado en la constelación de Hércules.



Gráfica de una sección de una columna de pixels de una imagen CCD. Son visibles todos los defectos típicos de la imagen: pixels calientes, polvo y atenuación.

MISIÓN MARINER

Las Mariner fueron un grupo de sondas estadounidenses que permitieron echar una ojeada a los planetas internos del sistema solar –Mercurio, Venus y Marte–, detectando características y aspectos absolutamente desconocidos. A partir de los descubrimientos efectuados se construyeron otras sondas destinadas a profundizar en los aspectos más interesantes.



El primer viaje interplanetario decidido por los estadounidenses tuvo por objetivo Venus, el cual, debido a la densa atmósfera que cubre su superficie, es el más desconocido de los dos planetas más próximos a nosotros. La sonda pionera de estas nuevas exploraciones fue la Mariner-II, que partió de Cabo Cañaveral el 27 de agosto de 1962, casi diecinueve meses después de la sonda rusa Venera-1, que iniciaba la exploración interplanetaria de los rusos.

La Mariner-II siguió una trayectoria que la llevó cerca de Venus, adonde llegó el 14 de diciembre de 1962 después de 109 días de viaje.

La menor distancia al planeta fue de 34.830 km, pese a lo cual los instrumentos de la sonda lograron medir la temperatura superficial, que resultó ser 428 °C más alta de lo previsto, y establecieron que Venus, a diferencia de la Tierra, no está rodeado por fuertes campos magnéticos y cinturones de radiación.



La sonda Mariner-V partió en 1967 hacia el planeta Venus.

LA ESTRUCTURA

La Mariner-II, que derivaba directamente de las sondas Ranger lunares, pesaba 203 kg y tenía una altura de 3 m.

Estaba formada por un contenedor hexagonal de 152 cm de ancho en la base, del que salían lateralmente dos paneles de células solares. En la parte inferior había una antena parabólica y en la superior una ligera montura para sostener los aparatos de detección.

El 14 de junio de 1967, partió la Mariner-V, la segunda sonda estadounidense que dejó la Tierra con destino a Venus.

Esta sonda estaba más perfeccionada que la primera. Pesaba 245 kg porque llevaba más material, pero también su forma era distinta, con todos los elementos concentrados en el cuerpo hexagonal, del que partían cuatro paneles de células solares dispuestos en forma de cruz.

La Mariner-V estaba destinada en principio a ser el vehículo de reserva de la Mariner-IV, construida para realizar el primer viaje a Marte.

Para adaptarla al nuevo tipo de misión, más próximo al Sol, se le adjuntaron una serie de paneles de protección térmica.

La antena parabólica para telecomunicaciones estaba en lo alto del contenedor central.

La Mariner-V se acercó al planeta hasta una distancia mínima de 3.990 km.

En esta zona, los instrumentos detectaron un campo magnético que no había sido medido anteriormente a mayor altura.

Esta misión logró medir también la densidad de la atmósfera y parte de su constitución química.

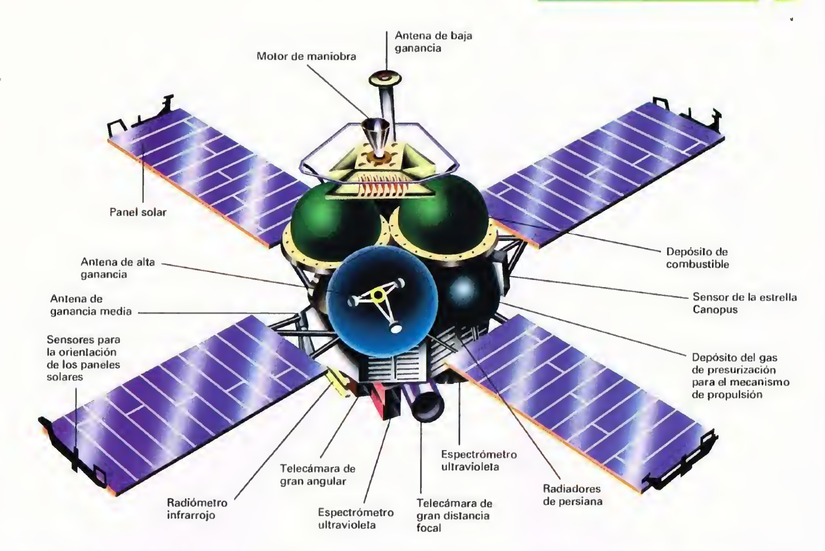
Hubo que esperar seis años para que otra sonda partiera hacia Venus.

LAS NOVEDADES DE LA MARINER-X

La sonda siguiente fue la Mariner-X, que, por diversos motivos, cabe considerar como



Órbita de la sonda Mariner-X en su viaje hacia Mercurio, con el paso por las proximidades de Venus.



La sonda Mariner-IX fue el primer satélite artificial del planeta Marte. Los instrumentos de a bordo mostraron un insospechado planeta, con cañones, volcanes y montañas.

una de las más famosas de la exploración interplanetaria.

Ante todo, se ensayó una nueva técnica de vuelo, el «impulso gravitacional», que consiste en que un vehículo aprovecha la acción gravitacional de un planeta para cambiar de dirección y adquirir energía para dirigirse hacia otro. Así, la Mariner-X, después de aproximarse a Venus, siguió camino hacia Mercurio, al que visitó en tres ocasiones.

La Mariner-X tenía en común con las sondas precedentes de esta serie el contenedor octogonal central, dos paneles de células solares, la antena parabólica para las transmisiones, un aparato de propulsión con hidracina para las correcciones de la trayectoria y un sistema de estabilización de tres ejes que mantenía constante la posición del vehículo por medio de minúsculos chorros de nitrógeno. A la base se le adjuntó un escudo de protección térmica. Entre los nuevos instrumentos había, además, un par de telecámaras para fotografiar la superficie de Mercurio. La sonda pesaba 533 kg, 78 de los cuales estaban reservados a los instrumentos científicos.

La Mariner-X partió el 3 de noviembre de 1973, sobrevoló Venus el 5 de febrero de 1974 a una altura de 5.760 km y se dirigió a Mercurio, pasando por primera vez por sus proximidades, a 800 km de altura, el 29 de marzo de 1974. El segundo paso tuvo lugar a 50.000 km de distancia el 21 de septiembre de 1974 y el tercero, a 327 km de altura, el 16 de marzo de 1975.

La resolución de las imágenes, que en el primer paso fue de 100 m, llegó a los 50 m en el segundo.

La Mariner-X brindó el primer mapa del planeta más cercano al Sol; desde entonces, ninguna sonda se ha acercado tanto a Mercurio.

Entre las sorpresas más notables cabe mencionar el descubrimiento de una tenue atmósfera de helio y de un débil campo magnético.

La Mariner-X envió también las primeras fotografías próximas de la atmósfera de Venus, en la cual se descubrió la presencia de nubes que giran velozmente.

La misión Mariner-X fue dada por concluida el 24 de marzo de 1975, cuando se agotaron las reservas de oxígeno necesarias para la estabilización y el vehículo pasó a ser incontrolable.

VIAJES A MARTE

La exploración de Marte, que comenzó en 1964, estuvo acompañada de una atmósfera de gran expectación ante la posibilidad de encontrar formas de vida.

A la creación de esta expectativa contribuyeron no tanto los argumentos de los astrónomos, que como máximo dieron a Marte una probabilidad ligeramente mayor que a otros lugares del sistema solar, como los relatos de ciencia ficción y la idea de la posible existencia de canales marcianos divulgada unas décadas antes.

El 15 de julio de 1965 los científicos estadounidenses llevaron a buen puerto una empresa grandiosa: la Mariner-IV, lanzada desde Cabo Kennedy el 28 de noviembre de 1964, se había aproximado a Marte y había tomado y retransmitido a la Tierra imágenes de la superficie del planeta rojo.

Gran parte de sus instrumentos científicos iban en un contenedor octogonal de unos 125 cm de diámetro, coronado por dos antenas de radio: una, de baja ganancia, se utilizaba cerca de la Tierra; la otra, de alta ganancia, se empleaba para distancias mayores. La alimentación de los aparatos de radio y de los instrumentos de la Mariner-IV corría a cargo de instrumentos recargables, que recibían la electricidad de los cuatro paneles de células solares.

El funcionamiento de la sonda se confiaba a varios sistemas, entre ellos un sistema de regulación térmica y algunos sensores, que permitían mantener constante



Representación pictórica de la sonda Mariner-X en órbita.

la posición de la Mariner-IV respecto a los puntos de referencia durante el vuelo; pequeños chorros de gas para modificar la estabilidad del vehículo espacial cuando se debían realizar maniobras de gran alcance; y, por último, un motor cohete para la corrección de la velocidad a mitad de camino, una maniobra más bien compleja pero que se llevó a cabo a plena satisfacción.

Todos los aparatos del vehículo interplanetario estadounidense estaban regulados por ordenador. En su interior se habían almacenado las informaciones y disposiciones necesarias para que el vuelo fuera seguro durante los 530 millones de kilómetros que la sonda debía recorrer. Aunque sólo la décima parte del peso de la Mariner estaba formada por los instrumentos de detección científica en el planeta, esta pequeña fracción del peso total justificaba el vuelo. A bordo del vehículo iban montados ocho instrumentos, cada uno de los cuales debía dar a conocer algún aspecto de Marte, del espacio interplanetario o de ambos. De ellos, seis funcionaron durante todo el vuelo:

1) La sonda de plasma solar. Este dispositivo midió la densidad y la velocidad, así como la temperatura y la dirección de las partículas a baja energía que constituyen el «viento solar».

2) La cámara de ionización. Servía para medir las radiaciones, principalmente los rayos cósmicos procedentes de nuestra Galaxia, en correspondencia con los distintos niveles de energía.

3) El detector de las radiaciones confinadas, esto es, obligadas a moverse en espacios limitados debido a la presencia de un campo magnético. Su cometido era determinar si en torno a Marte había o no cinturones de radiación similares a los de Van Allen.

4) El magnetómetro, a fin de medir la intensidad de un eventual campo magnético.

5) El telescopio de rayos cósmicos. Tres detectores de oro-silicio medían protones con niveles de energía superior.

6) El detector de polvo cósmico. Estaba formado por una pequeña lámina de aluminio que se comportaba como el diafragma de un micrófono, enviando una señal eléctrica cada vez que incidía en ella una partícula de polvo. Los científicos deseaban saber si el polvo cósmico era más denso cerca de Marte que de nuestro planeta.

MISIÓN CUMPLIDA

El 15 de julio de 1965, después de días de espera enervante, los científicos encargados de la recepción de las imágenes de la sonda constataron el éxito de la primera fase de la empresa: las telecámaras habían recibido la orden de activarse para fotografiar la superficie de Marte y habían respondido confirmando que todo estaba dispuesto.

Esta histórica información fue captada en Pasadena (California), mientras las demás estaciones, la de Johannesburgo, en Sudáfrica, y la de Robledo de Chavela, cerca de Madrid, se aprestaban a observar Marte. Desde Johannesburgo, otro técnico envió una nueva orden: las telecámaras debían apuntar al planeta, ya que la sonda se encontraba a apenas 190.000 km de Marte y se estaba acercando al planeta a la velocidad de 15.000 km/h. Todo estaba dispuesto para el histórico suceso; se trataba sólo de esperar.

A las 12.41 del 15 de julio, la estación española recibió las primeras señales fotográficas.

La Mariner había coronado con éxito su misión.

INVESTIGACIONES POSTERIORES

Las 21 fotografías tomadas por la sonda demostraron la existencia de una superficie con largos valles producidos por la erosión del agua pero bastante similar a la Luna en otros aspectos. Además, revelaron la existencia de una tenue atmósfera.

En 1969, dos nuevas sondas, la Mariner-VI y la Mariner-VII, que pesaban 413 kg, ampliaron notablemente el conocimiento de Marte. Estas sondas pasaron cerca del planeta respectivamente el 25 de febrero y el 27 de marzo.

La Mariner-VI pasó a 3.300 km de la superficie del planeta el 31 de julio de 1969, y concentró la actividad de los instrumentos en la zona ecuatorial. La Mariner-VII, por su parte, pasó a 3.518 km de la superficie el 5 de agosto de 1969 y escrutó sobre todo el hemisferio sur. Los dos vehículos realizaron 2.400 mediciones de la composición química de la atmósfera y encontraron, entre otras cosas, que la temperatura de la superficie pasaba de 13 °C durante el día a un valor comprendido entre –52 y –103 °C durante la noche.

Por desgracia, el lanzamiento de la Mariner-VIII, el 18 de mayo de 1971, se saldó con un fracaso.

Esta sonda debía ponerse en órbita alrededor del planeta para estudiar el medio con mayor continuidad y riqueza de detalles. El mismo cometido tenía una segunda sonda, la Mariner-IX, que afortunadamente logró su objetivo.

Lanzada el 30 de mayo de 1971, la Mariner-IX entró en órbita marciana el 13 de noviembre siguiente después de 167 días de viaje. Una vuelta completa requería 12 horas. La Mariner-IX fue la primera sonda que entró en órbita alrededor de otro planeta del sistema solar. Durante 349 días, esta sonda envió datos a la Tierra acompañados de 7.329 imágenes de televisión, entre ellas algunas tomas detalladas de Fobos y Deimos, las lunas de Marte. Si las primeras sondas Mariner encontraron un planeta geofísicamente inerte, la Mariner-IX reveló un cuerpo planetario activo, con volcanes no extinguidos y fenómenos meteorológicos de una cierta intensidad. La brillante expedición concluyó el 27 de octubre de 1972.

Mosaico de la atmósfera de Marte compuesto a partir de las observaciones de las telecámaras de la sonda Mariner-IX.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

MOVIMIENTOS MILENARIOS DE LA TIERRA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LAS BLUE STRAGGLERS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

EL PINTOR

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

SATÉLITES X

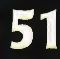
EL USO DEL ESPACIO

BASES ESTADOUNIDENSES



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO





PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

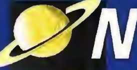
ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

MOVIMIENTOS MILENARIOS DE LA TIERRA

Además de rotación y traslación, la Tierra efectúa en el espacio otros movimientos. Se desplaza con nuestro sistema solar alrededor del centro de la Galaxia y, junto con ésta, por los espacios siderales.



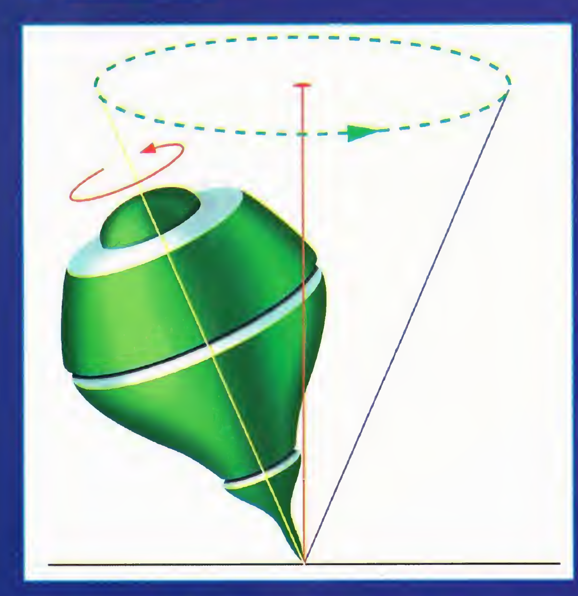
Nuestro planeta se mueve en el espacio efectuando dos movimientos principales, cuyos efectos son detectables en nuestra vida cotidiana: un movimiento de traslación alrededor del Sol, que provoca la alternancia de las estaciones, y otro de rotación, causante del día y de la noche. Pero la Tierra tiene también otros movimientos, que no por menos aparentes dejan de ser importantes, cuyos efectos han de tener en cuenta los astrónomos en sus observaciones de los objetos celestes, porque modifican el sistema de coordenadas con el que es posible localizar los cuerpos en la esfera celeste.

Entre los movimientos de más difícil observación, hay que citar el de precesión y el de nutación, indicados respectivamente como el tercero y el cuarto movimientos de la Tierra.

LA TIERRA ES UN GRAN TROMPO

El movimiento de precesión de los equinoccios fue descubierto por Hiparco en el siglo II a.C. Consiste en un movimiento muy lento del eje de rotación terrestre, el cual, aun manteniendo siempre constante su inclinación respecto al plano de la eclíptica, cambia su dirección en el espacio. El movimiento resultante puede imaginarse como el desplazamiento del eje terrestre a lo largo de una superficie cónica. Es algo así como el movimiento que observamos cuando hacemos girar un trompo. La precesión está motivada por la atracción gravitatoria que el Sol y la Luna ejercen sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra. Nuestro planeta no es perfectamente esférico, sino que está

Desde la superficie de la Tierra, que nos arrastra siempre consigo, es imposible percibir con facilidad cuánto y cómo se mueve nuestro planeta.



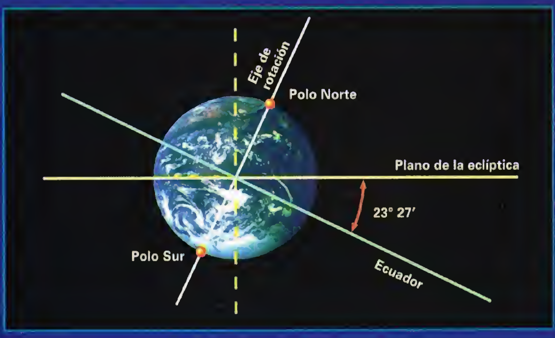
El movimiento de precesión del eje de rotación terrestre es similar al de un trompo cuyo eje se mueve en el espacio describiendo una superficie cónica.

ligeramente achatado en los polos. El Sol y la Luna no se encuentran en el plano del ecuador celeste: la eclíptica y la órbita lunar están inclinadas de manera diferente respecto al plano del ecuador. Esto hace que, separadamente, tiendan a alinear el abultamiento ecuatorial terrestre con sus propios planos orbitales.

Pero como la Tierra gira alrededor de su propio eje, se opone a esta doble atracción, lo que comporta que el eje de rotación terrestre, que es perpendicular al ecuador, se mueva en el espacio tal como lo haría un trompo.

EL MOVIMIENTO DEL POLO NORTE CELESTE

Con el tiempo y con el cambio de las posiciones relativas de Tierra, Luna y Sol, el eje terrestre, sometido a estas fuerzas, acaba por describir una superficie en doble cono con el vértice en el centro de la Tierra. Aproximadamente cada 26.000 años, el eje vuelve a tener la misma orientación espacial. Las consecuencias de este movimiento afectan al lento desplazamiento en la esfera celeste del polo Norte y del equinoccio de primavera. Por eso, aunque actualmente puede decirse que la estrella polar es la indicadora de la posición del polo Norte celeste, en el futuro no lo será, debido a la variación de la dirección del eje de rotación terrestre. Como consecuencia de la precesión, el polo Norte describe una circunferencia en la bóveda celeste y, por ejemplo, en el año 14000 estará situado en las proximidades de la estrella Vega, en la constelación de la Lira. Además, como el eje de rotación es perpendicular al ecuador celeste, el desplazamiento de la dirección de tal eje provocará un desplazamiento en el espacio del plano del ecuador, aunque mantendrá siempre el mismo ángulo de inclinación respecto al plano de la eclíptica.



El plano del ecuador celeste, que se identifica por la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste, corta el plano de la eclíptica según un ángulo de 23° 27′.

LA PRECESIÓN DE LOS EQUINOCCIOS

El punto Aries, o equinoccio de primavera, que se detecta en la intersección del ecuador celeste con la eclíptica, también sufre un lento desplazamiento. De ahí que este movimiento de la Tierra se llame precesión de los equinoccios. El cambio de posición del equinoccio de primavera tiene dos consecuencias: una afecta a las coordenadas celestes; la otra, a las constelaciones del zodíaco. El equinoccio de primavera representa el punto de referencia a partir del cual se mide la ascensión recta de los astros en el sistema de coordenadas ecuatoriales. El hecho de que el equinoccio de primavera se mueva en la esfera celeste hace que las coordenadas se vayan actualizando (la ascensión recta de un astro varía continuamente), o bien que se acepte por convención dar las coordenadas que los cuerpos celestes tuvieron o tendrán en una determinada época.

EL PUNTO ARIES Y EL ZODÍACO

El equinoccio de primavera se llama también punto Aries porque en la

Antigüedad, cuando se identificó su posición en la esfera celeste, se vio que estaba aparentemente en la constelación de Aries. Hoy, sin embargo, a causa del movimiento de precesión, el equinoccio de primavera ya no está en Aries, sino en la constelación de Piscis. Tampoco existe ya la correspondencia que hubo en la Antigüedad entre los doce signos zodiacales y sus respectivas constelaciones. Por ejemplo, si hablamos del signo de Piscis, no hemos de pensar que entre el 21 de febrero y el 21 de marzo el Sol se encuentra efectivamente en tal constelación. Esto era cierto en los tiempos antiguos, pero no lo es hoy, ya que, debido a la precesión, el Sol, visto desde la Tierra, en aquel período recorre la eclíptica, recortándose sobre el fondo de la constelación de Acuario.

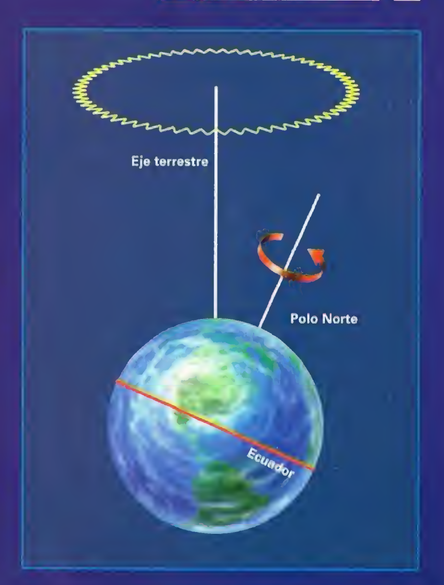
PERTURBACIONES EN EL MOVIMIENTO CÓNICO

El movimiento de precesión del eje terrestre, debido a la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna, se llama precesión lunisolar.

Dado que el movimiento de precesión se debe a la diferencia de atracción gravitatoria ejercida por estos cuerpos celestes sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra, cuando la Luna, por ejemplo, durante su movimiento, está atravesando el plano del ecuador terrestre, su influencia en la precesión del eje de la Tierra acaba por anularse.

En el cálculo de las influencias en el movimiento de precesión, también hay que tener en cuenta otros factores, como, por ejemplo, el hecho de que las distancias de la Tierra al Sol y a la Luna varían con el tiempo y, por tanto, las atracciones gravitatorias que ejercen estos dos cuerpos sobre los abultamientos ecuatoriales de la Tierra son distintas. Estas circunstancias actúan de tal manera que perturban el sencillo movimiento cónico del eje terrestre ya indicado.

La nutación es un movimiento oscilatorio del eje de rotación terrestre, provocado por la atracción lunar. Este movimiento oscilatorio se superpone al movimiento debido a la precesión.



LA NUTACIÓN

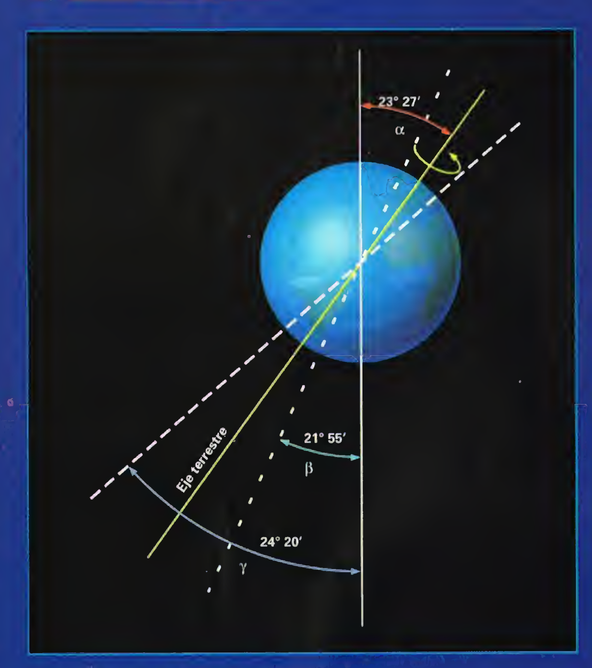
Todo esto se tiene en cuenta al decir que al movimiento de precesión del eje de rotación terrestre se superpone un cuarto movimiento: la nutación, consistente en pequeñas oscilaciones del eje terrestre. Estas oscilaciones hacen que el movimiento resultante del movimiento cónico de precesión y del oscilatorio de nutación sea, en definitiva, un movimiento a lo largo de una superficie en doble cono ondulado. El fenómeno de la nutación tiene un período de unos 18 años y 8 meses, y se debe a la atracción gravitatoria ejercida por la Luna. La amplitud máxima de este movimiento oscilatorio es de 9''.

LA INFLUENCIA DE LOS PLANETAS SOBRE EL MOVIMIENTO DE LA TIERRA

La precesión lunisolar se debe, como la expresión misma indica, a la acción del Sol y de la Luna; pero éste no es el único tipo de precesión al que se halla sometida la Tierra. También los planetas ejercen su influencia. En realidad, la atracción de estos cuerpos no provoca modificaciones en la posición del eje terrestre en el espacio. Sin embargo, sí influye en el movimiento de la Tierra alrededor del Sol,



A la izquierda, la parte principal de la constelación de Aries, en cuyo interior se hallaba en otro tiempo el punto equinoccial de primavera.

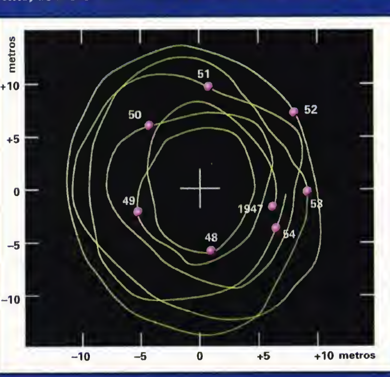


También la inclinación del eje terrestre cambia periódicamente con el tiempo, aunque siempre se mantiene dentro de un ángulo mínimo y un ángulo máximo. Actualmente su inclinación es de 23° 27'.

modificándolo y determinando un desplazamiento del plano de la órbita terrestre, es decir, de la eclíptica. Este movimiento se llama precesión planetaria y hace que el polo de la eclíptica se desplace en el espacio. El resultado es que el movimiento de precesión total, lunisolar y planetaria, es un movimiento cónico periódico, pero no cerrado, del eje de rotación terrestre. Significa, pues, que el eje terrestre, después de 26.000 años, habrá efectuado una vuelta completa, pero ya no volverá a señalar exactamente el mismo punto en el firmamento.

EXCENTRICIDAD DE LA ÓRBITA TERRESTRE

Los otros cuerpos del sistema solar ejercen su atracción sobre la Tierra no sólo modificando la posición en el espacio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, sino también cambiando su forma a lo largo del tiempo. Por consiguiente, la excentricidad (achatamiento) de la órbita queda modificada. Esta variación tiene lugar en un período de unos 92.000 años. Es un fenómeno que tiene como consecuencia que en unas épocas la órbita sea más achatada y en otras lo sea menos.



Los polos de la Tierra se desplazan ligeramente describiendo una complicada espiral a lo largo de unos 14 meses. Este desplazamiento se debe a que la Tierra está sujeta a continuas modificaciones causadas por los terremotos, las erosiones, etc. No llega a los 15 m de amplitud.

INCLINACIÓN DEL EJE TERRESTRE

También el ángulo de inclinación del eje terrestre varía, aunque poco, con el tiempo, y pasa de un máximo de 24° 20' a un mínimo de 21° 55', con un período aproximado de 41.000 años. El ángulo de inclinación del eje terrestre es actualmente de 23° 27'.

Los movimientos que consisten en la variación de la posición de la órbita terrestre, en el cambio de la forma de la órbita y en la variación de la inclinación del eje de la Tierra, tienen consecuencias sobre el clima y las estaciones, ya que modifican la duración de estas últimas y la iluminación de los hemisferios terrestres. Pero, en cualquier caso, la cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre es siempre la misma, a pesar de que su distribución sobre la Tierra cambia.

OTROS DESPLAZAMIENTOS

El eje de rotación presenta también otros movimientos: por ejemplo, se desplaza aproximadamente 0,2" respecto a la Tierra. Analizando estos movimientos se ha visto que tienen dos componentes: uno con un período de cerca de un año; el otro, con un período de 433 días. Este último se llama «término de Chandler».

INFLUENCIA DE LAS MAREAS

También las mareas debidas a la atracción de la Luna sobre las masas oceánicas de la Tierra desempeñan un papel importante en la rotación: el rozamiento de las



Todas las estrellas de nuestra Galaxia participan en un movimiento orbital alrededor del centro de la misma. La velocidad a la que las estrellas giran alrededor del centro es diferente y depende de su distancia a él. La Galaxia no gira como un cuerpo rígido, sino que presenta una rotación diferencial, es decir, cuanto más próxima del centro galáctico está una estrella, más rápidamente recorre su propia órbita.

corrientes que provocan las mareas disminuye la velocidad de rotación de la Tierra y alarga progresivamente la duración del día.

Este efecto es calculable y previsible, como todas las perturbaciones descritas hasta ahora.

MOVIMIENTOS DE LOS POLOS TERRESTRES

Ciertos movimientos del eje de la Tierra son imprevisibles. Pueden deberse al desplazamiento de masas oceánicas o a movimientos internos del globo terrestre. Por tanto, hay que hablar de estos movimientos como de una especie de «migración de los polos terrestres», o sea, de un desplazamiento continuo de los polos. La línea que éstos proyectan sobre la superficie terrestre durante su movimiento se llama «polodia», que, más o menos, significa «camino de los polos».

Polo de la elíptica

23° 26'

23° 26'

N

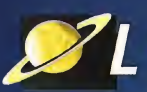
El cono descrito por el eje de rotación de la Tierra tiene una amplitud de unos 23,5°. Las oscilaciones más pequeñas, llamadas nutaciones, están provocadas por las variaciones de la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna sobre nuestro planeta.

EL MOVIMIENTO CONJUNTO DE LA TIERRA, DEL SISTEMA SOLAR Y DE NUESTRA GALAXIA

La Tierra se mueve en el espacio junto con el sistema solar y, por tanto, participa en el movimiento conjunto del sistema, que se mueve en dirección a la constelación de Hércules. El Sol se desplaza en el espacio en dirección a esta constelación a una velocidad de unos 70.000 km/h. Por otra parte, la Tierra, junto con el sistema solar, se mueve dentro de nuestra Galaxia, participando en la rotación según una órbita casi circular alrededor del centro de la misma, a una velocidad de unos 800.000 km/h. A su vez, nuestra Galaxia no está inmóvil en el espacio, sino que se desplaza a una velocidad de unos 950.000 km/h.

LAS BLUE STRAGGLERS

Las blue stragglers son estrellas más brillantes y más calientes de lo que deberían ser. Desde hace casi medio siglo constituyen un misterio.



La traducción del nombre inglés de estas estrellas podría ser «errantes azules». En efecto, estas extrañas estrellas se parecen un poco a las que van errando por cuenta propia, pero no porque estén solas en los espacios interestelares. En realidad, se encuentran siempre dentro de agrupaciones estelares, como cúmulos abiertos y, especialmente, cúmulos globulares. Hoy se sabe que casi todos los cúmulos estelares tienen como promedio una veintena de estas estrellas en su interior. Sus propiedades físicas, su temperatura superficial y su luminosidad las distingue de sus compañeras de viaje en el interior del mismo sistema estelar. Esto se debe a que son más brillantes y más azules y, por tanto, más calientes de lo que teóricamente deberían ser. Pero ¿qué temperatura y luminosidad habrían de tener estas estrellas? Para dar una respuesta a esta pregunta, es necesario remontarse a la época de la formación del sistema estelar en el que se encuentra la blue straggler.



A la derecha, el cúmulo globular M3 en la constelación de los Perros de Caza. En el interior de este tipo de agrupaciones estelares suele haber blue stragglers. En los años cincuenta, Allan Sandage descubrió las primeras en M3.

EL NACIMIENTO DE UN SISTEMA ESTELAR

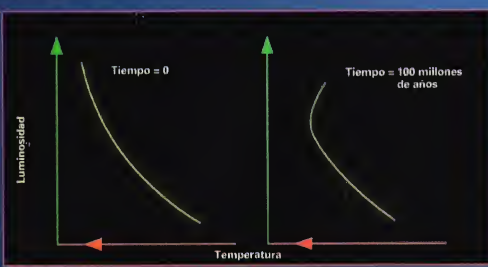
La nube de material interestelar que supuestamente da origen a un sistema de estrellas, por ejemplo un cúmulo globular, está constituida esencialmente por hidrógeno y helio.

Cuando la atracción gravitatoria entre los elementos integrantes de la nube supera la agitación térmica, la nube inicia una fase de contracción gravitatoria. Durante este colapso, la nube se fragmenta y, a su vez, cada uno de los fragmentos se contrae formando lo que más tarde se convertirá en una estrella.

A medida que el fragmento va contrayéndose, su temperatura interior aumenta, y cuando llega a valores del orden de diez millones de grados, empiezan a tener lugar las reacciones nucleares de fusión del hidrógeno, cuyo resultado es la producción de un núcleo de helio a partir de cuatro núcleos de hidrógeno. Este proceso nuclear es la fuente de energía de las estrellas. Se dice que «ha nacido una estrella» cuando en su núcleo tienen lugar las reacciones de fusión del hidrógeno en helio.

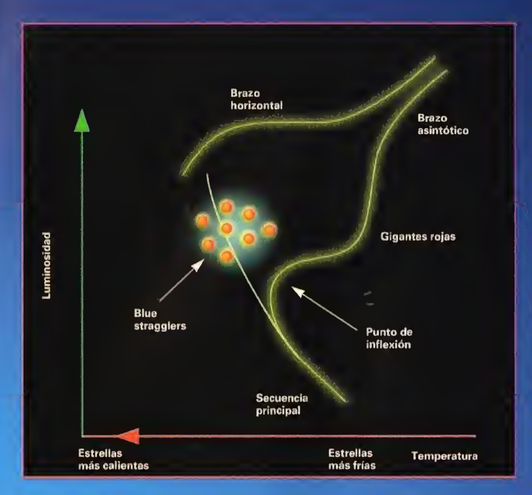
EL DIAGRAMA HR

Si midiéramos la luminosidad y la temperatura superficial de estas estrellas recién nacidas, es decir, que apenas han empezado a «quemar» hidrógeno en sus regiones centrales, e hiciéramos de ellas una



Tiempo = 1.000 millones de años
Tiempo = a partir de 10.000 millones de años
Luminosidad
Temperatura

Al principio, las estrellas pertenecientes a un sistema estelar se disponen a lo largo de la secuencia principal, en un diagrama HR. A medida que pasa el tiempo, las estrellas evolucionan, empezando por las más masivas y luminosas, las de vida corta. Éstas van a poblar otra región del diagrama, la que contiene las estrellas gigantes rojas, que determinan en el diagrama una línea que se curva en el llamado punto de inflexión de la secuencia principal.



representación gráfica, obtendríamos lo que se llama un diagrama de Hertzsprung-Russell (HR). En un diagrama de este tipo, los puntos que representan las estrellas acabadas de nacer en el cúmulo estelar no están dispuestos al azar, sino que se agrupan en una región del diagrama, llamada habitualmente secuencia principal. En ella las estrellas dejan transcurrir la mayor parte de su vida, quemando el hidrógeno que contienen sus regiones centrales.

Sin embargo, las estrellas no mantienen siempre los valores de temperatura y luminosidad que tenían originariamente. Ellas, como todo cuanto hay en el universo, nacen, viven, envejecen y, finalmente, mueren de diferentes maneras, de acuerdo con su masa. Con el tiempo, la estrella agota el hidrógeno que tiene en sus regiones centrales, ya que este gas se ha ido transformando poco a poco en helio. Cuando esto ocurre, el núcleo estelar empieza a contraerse, mientras que las regiones externas se expanden y se enfrían: la estrella se convierte entonces en una gigante roja. Esto significa que, como las regiones superficiales se enfrían, la estrella empieza a abandonar la secuencia principal y a desplazarse hacia la derecha en el diagrama HR.

Las primeras estrellas que abandonan la secuencia principal son las más luminosas porque son las más masivas. Cuanto más masiva es una estrella, más rápidamente quema el hidrógeno de su núcleo y antes abandona la secuencia principal.

De este modo, con el tiempo, la secuencia principal de un cúmulo se despuebla a partir de las estrellas más brillantes, y permanece interrumpida en un punto llamado «punto de inflexión».

En la práctica, el tiempo «devora» la secuencia a partir de la parte superior, es decir, a partir de las estrellas más luminosas. Esto tiene una consecuencia importante: dado que la posición del punto de inflexión está estrechamente ligada al tiempo transcurrido desde el nacimiento del cúmulo, podremos deducir la edad del sistema estelar. De este modo se ha deducido que todos los cúmulos globulares tienen una edad comprendida entre diez mil y veinte mil millones de años.

Según las teorías de la evolución estelar, la región del diagrama HR comprendida entre el punto de inflexión y el brazo horizontal debería carecer de estrellas. En cambio, suele estar poblada por una serie de grupos estelares: las blue stragglers. Su presencia puede explicarse de diversas maneras, sin que esto invalide las teorías estándar de la evolución.

SANDAGE DESCUBRE LAS BLUE STRAGGLERS

En los años cincuenta, Allan Sandage descubrió las primeras blue stragglers precisamente en un cúmulo globular, el M3. Se trata de estrellas que ocupan una posición anómala en el diagrama HR de un cúmulo porque se encuentran en la prolongación de la secuencia principal,

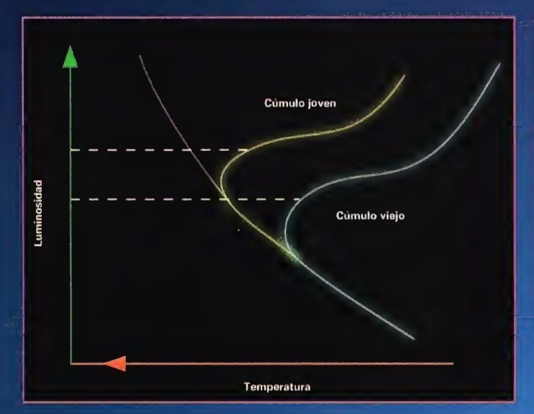


DISTRIBUCIÓN DE LAS BLUE STRAGGLERS EN LOS CÚMULOS GLOBULARES

Un cúmulo globular es un sistema estelar en equilibrio, cuyas estrellas tienden a distribuirse en su interior según su masa. Esto significa que, por término medio, si en el cúmulo existen estrellas binarias –o estrellas que son el resultado de la fusión de dos o más estrellas–, al ser más masivas que las otras estrellas del sistema, tienden a caer hacia el centro del cúmulo.
Por tanto, observando dónde se encuentran las blue stragglers en el interior de estos cúmulos, puede tenerse una idea de su masa: según las numerosas observaciones que se han hecho en los últimos años, se ha visto que las blue stragglers suelen concentrarse en las regiones centrales de los cúmulos globulares, siempre en espera de que se confirme que o bien son binarias o bien son estrellas más masivas que el promedio de las otras del cúmulo.

Abajo, el cúmulo globular M107, en la constelación de Ofiuco. Se trata de un cúmulo de octava magnitud que tiene un diámetro aproximado de 2 minutos de arco.







Arriba, otro cúmulo globular. Esta vez se trata de M15, en la constelación de Pegaso. Su luminosidad equivale a la de una estrella de magnitud 6,5, y cubre un área aproximada de 7 minutos de arco de diámetro.

por encima del punto de inflexión, donde, en teoría, no debería haber estrellas porque ya tendrían que haberse convertido en gigantes rojas.

¿POR QUÉ ENCIMA DEL PUNTO DE INFLEXIÓN?

¿Por qué existen estrellas en una parte de la secuencia principal que debería estar completamente vacía? ¿Por qué estas estrellas han eludido el incesante paso del tiempo?

Lo primero en que se piensa para explicar estos objetos estelares es que son objetos de campo, es decir, estrellas que en realidad no pertenecen al cúmulo, sino que simplemente se encuentran en la línea de visión entre nosotros y el sistema estelar.

Sin embargo, mediante métodos espectroscópicos, se ha comprobado que la mayoría de las blue stragglers pertenecen a los cúmulos estudiados: de su espectro puede deducirse la velocidad de la estrella con respecto a nosotros. Si el movimiento de la blue straggler es análogo al de todas las estrellas del cúmulo, se puede deducir que pertenece al sistema estelar observado. Pero si las blue stragglers pertenecen a los cúmulos globulares, el misterio de su existencia permanece.

ESTRELLAS MÁS JÓVENES...

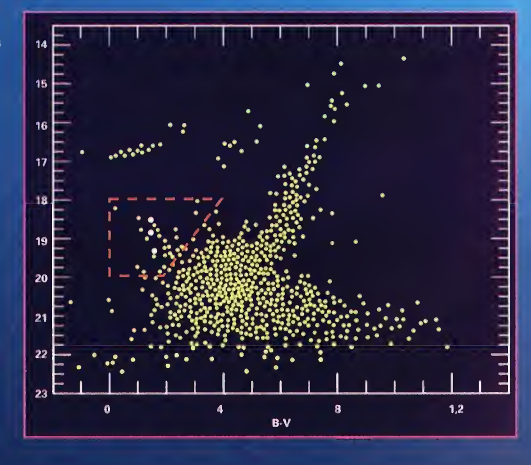
La otra hipótesis que puede formularse es que no todas las estrellas del sistema han nacido al mismo tiempo: las blue stragglers podrían ser estrellas más jóvenes que las otras, que se encontrasen todavía en la secuencia principal porque no habrían agotado el hidrógeno de sus núcleos. Esta hipótesis sería válida si en los cúmulos globulares hubiese trazas de regiones de reciente formación estelar. En realidad, estos sistemas estelares, que son los más viejos de nuestra Galaxia, carecen casi por completo de materia estelar, necesaria para la formación de nuevas estrellas.

La posición del punto de inflexión en un diagrama HR es el único medio de que disponemos actualmente para establecer la edad de un cúmulo globular. Cuanto más alto se halla en el diagrama el punto de inflexión –y, por tanto, cuantas más estrellas hay aún en la secuencia principal–, más joven es el cúmulo.

... O ESTRELLAS REJUVENECIDAS

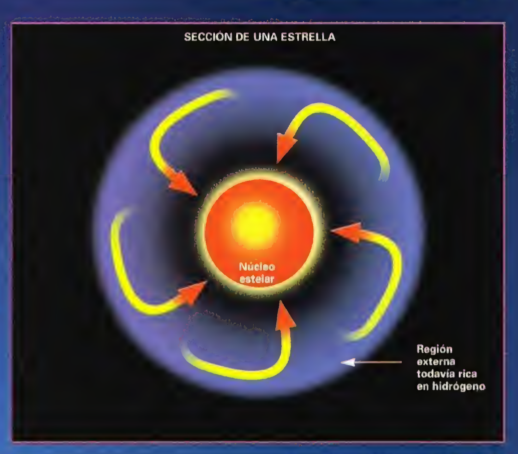
Si no son estrellas más jóvenes que las otras, quedan dos posibilidades para explicar su existencia: la primera es que se trate de objetos que, por alguna razón, hayan mantenido su posición en la secuencia principal, más allá de la debida a la acción del tiempo; la segunda es que sean estrellas que al nacer no ocupaban esta posición en el diagrama HR y que hayan llegado a ella a partir de una luminosidad y una

Diagrama HR del cúmulo globular NGC 5466. Con línea discontinua se representa la zona ocupada por las blue stragglers.





Arriba, fotografía del cúmulo globular M71, en la constelación de la Flecha. Su aspecto poco denso ha hecho que durante mucho tiempo se considerase un cúmulo abierto. La fotografía fue tomada con un telescopio de 25 cm equipado con una cámara CCD, y con un tiempo de exposición de 20 segundos.



temperatura inferiores, hasta superar el punto de inflexión.

En el primer caso debería haberse producido algún mecanismo que hubiese rejuvenecido la estrella, como una redisposición del interior de la estrella que hubiese desplazado hidrógeno de las capas superficiales hacia las regiones nucleares. De esta manera, las reacciones de combustión del hidrógeno que tendrían lugar en el núcleo durarían mucho más y la estrella permanecería más tiempo en la secuencia principal. Una redisposición de este tipo podría producirse por la acción de fuertes campos magnéticos. Se ha calculado que si la estrella tuviese un campo magnético del orden de cien mil veces el del Sol, podría provocar una redisposición completa de la materia del interior de la estrella. Se han encontrado blue stragglers que tienen campos magnéticos de este tipo en algunos cúmulos abiertos, pero no en las pertenecientes a los cúmulos globulares.

Arriba, a la derecha, mezcla en el interior de una estrella. A la derecha y abajo, fusión de dos estrellas ya próximas en un sistema binario (A); fusión de dos estrellas que colisionan (B).

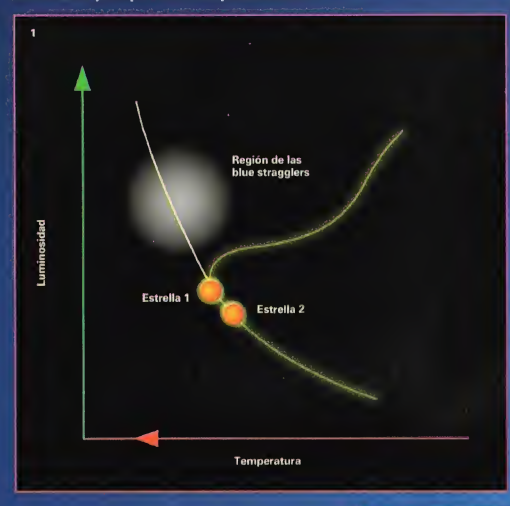






FUSIÓN DE ESTRELLAS

Otra hipótesis es que las blue stragglers sean estrellas que en su nacimiento no ocupen su actual posición en el diagrama HR, sino que hayan llegado a ella después de haber sufrido un aumento de luminosidad y temperatura. Esto puede suceder si





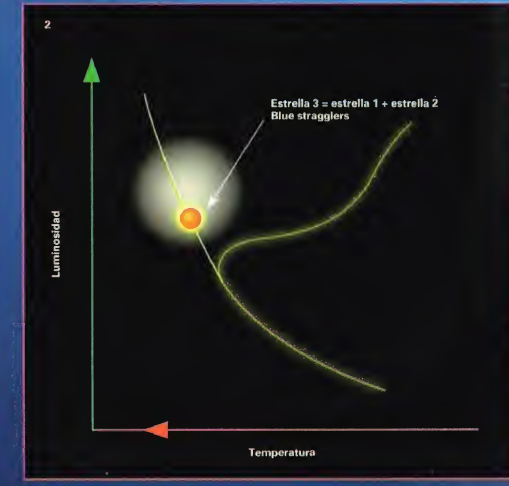
Arriba, fotografía de 47 Tucanae (NGC 104), uno de los cúmulos globulares más imponentes, visible desde el hemisferio sur. En sus regiones centrales se han identificado más de 20 blue stragglers.

lleguen a fundirse después de las complejas interacciones que se producen en ellas.

ESPECTACULARES COLISIONES ESTELARES

La fusión de dos o más objetos estelares también puede producirse en el caso de estrellas sencillas que, por encontrarse en un entorno «hacinado», lleguen a pasar muy cerca una de otra. En este caso se tendría una verdadera colisión estelar y la posible fusión de las dos estrellas que se encuentran. Esta hipótesis se ha avanzado para explicar las blue stragglers que se han localizado en las proximidades del centro de algunos cúmulos globulares, como 47 Tucanae. En entornos como éste, se cree que la posibilidad de colisión entre astros es elevada, porque

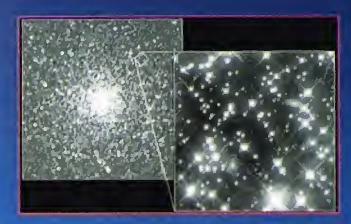
Si dos estrellas de la secuencia principal llegan a fusionarse (1), la estrella resultante ocupará una nueva posición en el diagrama HR (2), posición que corresponde a una estrella de masa igual a la suma de las masas de las dos estrellas iniciales.



su masa aumenta por efecto de la fusión con otra estrella. Si se funden dos estrellas que ocupan una posición en el diagrama HR inferior al punto de inflexión, al final ocuparán una posición que corresponde a una estrella cuya masa fuese la suma de las masas de las dos estrellas de origen; de esta manera se obtendría un objeto más luminoso y más caliente que los dos originarios y que podría situarse por encima del punto de inflexión, en la región típica de las blue stragglers.

ESTRELLAS EN LOS SISTEMAS BINARIOS

¿Es posible que dos estrellas se encuentren y se fundan entre sí? Para dos estrellas que estén suficientemente próximas, como las que se hallan en los sistemas binarios, es posible que se produzca una fusión de las dos componentes después de sus respectivas evoluciones. En algunos sistemas binarios, las estrellas pasan por fases en las que están «en contacto» y tiene lugar un intercambio de materia entre ambas. Puede pensarse que las dos estrellas que componen el sistema en contacto



la concentración de estrellas en un cúmulo globular es unas mil veces mayor que la que hay en las proximidades del Sol.

BLUE STRAGGLERS EN LOS CÚMULOS GLOBULARES

CÚMULO GLOBULAR	DISTANCIA	NÚMERO DE BLUE STRAGGLERS
47 Tucanae	15.000 años luz	24
NGC 5053	52.000 años luz	24
NGC 5139	16.000 años luz	9
NGC 5272	34.000 años luz	137
NGC 5466	51.000 años luz	48
NGC 6171	21.000 años luz	26
NGC 6397	7.200 años luz	24
NGC 6838	12.700 años luz	18
NGC 7078	34.000 años luz	9

EN BUSCA DE BLUE STRAGGLERS BINARIAS

Además de formular hipótesis sobre el origen de las blue stragglers, es de importancia fundamental comprobarlas con las observaciones: uno de los métodos más prometedores es ver si estas estrellas presentan una luminosidad que varía con el tiempo. Si una estrella se encuentra en un sistema



binario y la inclinación del sistema nos hace ver los eclipses recíprocos de las estrellas que lo componen, deberían observarse las variaciones de luminosidad de la blue straggler.

Durante las observaciones efectuadas hasta ahora en los cúmulos globulares, se ha descubierto que algunas blue stragglers se encuentran efectivamente en sistemas binarios, como, por ejemplo, algunas de las pertenecientes a los cúmulos globulares NGC 5466 y NGC 5053.

En cambio, se ha constatado que en otros cúmulos globulares, como 47 Tucanae y NGC 6397, no constituyen sistemas binarios.

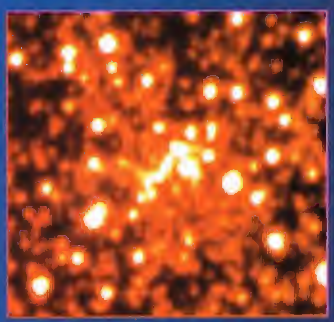
BLUE STRAGGLERS DIFERENTES EN EL MISMO SISTEMA ESTELAR

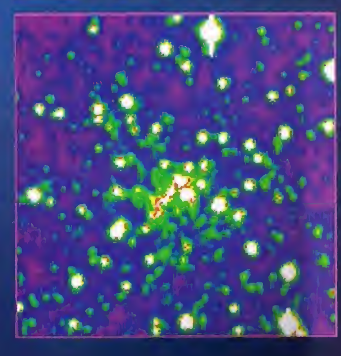
En consecuencia, puede pensarse que realmente no existe una modalidad única de formación de estas extrañas estrellas, sino que pueden actuar diversos mecanismos no sólo en el interior de diferentes cúmulos, sino también en un mismo sistema estelar. Por ejemplo, el escenario de la colisión estelar podría actuar eficazmente en las regiones centrales muy pobladas de un cúmulo globular. Pero como también se observan blue stragglers en las regiones externas con menos densidad de estrellas del mismo cúmulo, esto podría explicarse con la fusión de estrellas que desde su nacimiento estaban muy próximas y pertenecían a un sistema binario.

Arriba, a la izquierda, imagen tomada por el telescopio espacial Hubble, que muestra el cúmulo globular NGC 6397 en su conjunto, y detalla de una región periférica. Dentro de este cúmulo se han podido detectar 24 blue stragglers.

A la derecha, observación, con un telescopio del ESO, de la región central del cúmulo globular NGC 6397. Todas las estrellas que se encuentran en el centro de la imagen son blue stragglers.
El cúmulo NGC 5139 de la fotografía de la izquierda también alberga algunas blue stragglers; hasta ahora se han identificado nueve.

NGC 6397 (abajo, a la derecha) es uno de los cúmulos globulares más próximos a nosotros. Tiene una densidad estelar notable, superior a la media de los restantes cúmulos globulares. Como algunas hipótesis sobre la formación de las blue stragglers mencionan como causa las colisiones entre estrellas –más probables en un cúmulo más denso–, el NGC 6397 ha sido y sigue siendo uno de los cúmulos globulares más estudiados. Contiene unas veinte blue stragglers, la mayoría de las cuales se encuentran en las regiones centrales del cúmulo.





EL PINTOR

Conocida al principio como Caballete del Pintor, esta constelación pertenece al grupo de las que introdujo Lacaille.



Las estrellas de la constelación del Pintor son muy poco luminosas, pero cerca de ellas brilla uno de los astros más esplendorosos de la bóveda celeste: Canopus, en la constelación de la Quilla (Carina).

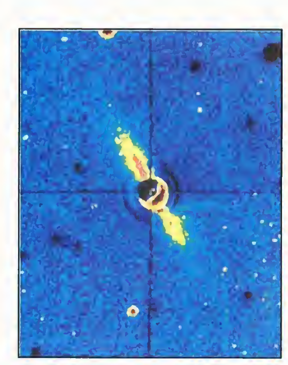
CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El Pintor está situado al norte de la constelación de la Mesa, al este del Dorado. Si se busca con esta indicación, hay que recordar que en el cielo, si se tiene el norte enfrente, el este y el oeste están intercambiados con respecto a la disposición que tienen en los mapas terrestres; por tanto, el Pintor se encontrará a la izquierda del Dorado.

ESTRELLAS PRINCIPALES

El astro más brillante de la constelación es Alfa, de magnitud 3,3 y luz blanca. Su distancia al sistema solar se estima en poco menos de 60 años luz.

Beta (magnitud 3,9) es aparentemente una estrella de cuarta magnitud poco interesante; en realidad se trata de una estrella blanca que dista unos sesenta años luz de nosotros y que los astrónomos creen posible que posea un sistema de planetas similar al nuestro. Unas técnicas de captación particulares, como la de ocultación de la luz directa de la estrella con un pequeño disco, han permitido observar un anillo de polvo que la rodea y que refleja su brillo. Por tanto, posee materia situada en un plano ecuatorial, residuo de la nebulosa que originó este astro; es verosímil que también exista un sistema planetario en formación a su alrededor.



La estrella Beta de la constelación del Pintor, tomada con un dispositivo análogo al coronógrafo, muestra un anillo de material que refleja su luz.

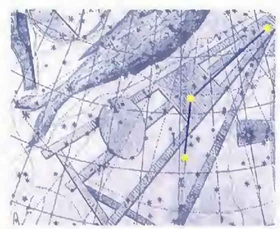
En el Pintor encontramos también una estrella doble, Iota (magnitud 5,6 y 6,4), formada por dos estrellas fácilmente separables con un telescopio pequeño, porque sólo están separadas 12".

Theta es una estrella triple, pero un telescopio de aficionado sólo puede resolver fácilmente dos de las tres componentes (magnitud 6,8 y 6,9), separadas entre sí unos cuarenta segundos de arco. La tercera estrella del grupo (magnitud 7,2) está situada tan sólo a 0,2" de la estrella de magnitud 6,9.

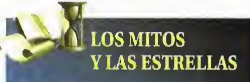
Delta es una estrella variable entre las magnitudes 4,7 y 4,9, con un período algo superior a un día y medio.

Una estrella decididamente poco visible es la llamada estrella de Kapteyn, de magnitud 8,8 y, por tanto, no observable a simple vista, sino sólo con la ayuda de instrumentos astronómicos aunque sean de poca potencia, como unos binóculos. La particularidad de este astro, una enana roja de baja temperatura superficial, es su relativa proximidad, de unos 12,7 años luz, y su gran movimiento propio, algo inferior al de la estrella de Barnard en la constelación de Ofiuco. Se desplaza por la bóveda celeste recorriendo casi 9 segundos de arco al año. Por tanto, para atravesar una región del cielo de la anchura del disco lunar visto desde la Tierra, emplea unos 200 años.

En el Pintor no se encuentran objetos dignos de mención para una observación telescópica. Dentro de los límites de esta constelación sólo se han representado algunas galaxias debilísimas, fuera del alcance de los telescopios de aficionado.



El Pintor, llamado originariamente Caballete del Pintor, está representado con esta figura en los atlas celestes más antiguos.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

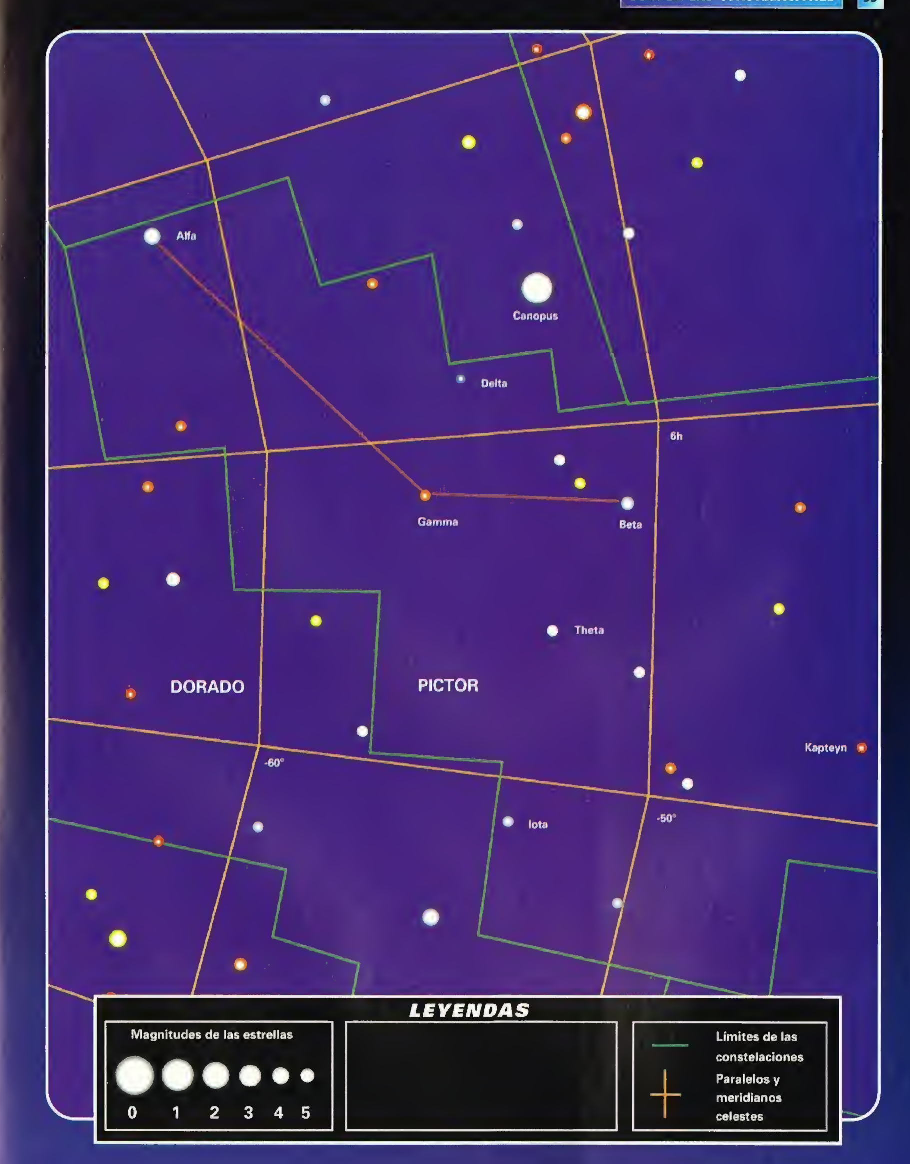
EL PINTOR

Al igual que muchas constelaciones australes, que no se introdujeron hasta después del Renacimiento, el Pintor no está ligado a ninguna mitología. Su invención se debe al abate Lacaille, que quiso introducir en la bóveda celeste el caballete del pintor. Por eso, al principio, la constelación se llamó Equuleus Pictoris, pero luego se abrevió como Pictor (Pintor).

DÓNDE BUSCARLA

EL PINTOR

La constelación del Pintor forma parte de la familia de constelaciones que aparecen con claridad durante la estación invernal del hemisferio boreal. En realidad, pasa por el meridiano a medianoche al comienzo del invierno. Hay que precisar, sin embargo, que su situación en el firmamento es tal que sólo puede verse desde latitudes más al sur de los 25° N. Abarca una región del cielo comprendida entre las 4 horas 30 minutos y las 6 horas 50 minutos de ascensión recta, y entre 43 y 64° S de declinación, aproximadamente.


Alfa
Canopus
Delta
6h
Gamma
Beta
Theta
DORADO
PICTOR
Kapteyn
-60°
-50°
Iota
LEYENDAS
Magnitudes de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

SATÉLITES X

De la llamada «astronomía de altas energías» surgen nuevos y estimulantes descubrimientos: los satélites que observan los objetos que emiten rayos X ponen de manifiesto importantísimas revelaciones.



La moderna astrofísica nos ha habituado a la idea de que los cuerpos celestes pueden ser observados en bandas del espectro electromagnético diferentes de la óptica. Una banda de observación privilegiada es la de los rayos X. La astronomía X se ha desarrollado recientemente y se ha convertido en seguida en uno de los campos más importantes de la astronomía espacial.

EL NACIMIENTO DE LA ASTRONOMÍA X

Las primeras observaciones del cielo en rayos X se efectuaron en 1949 utilizando un cohete conceptualmente muy semejante a una V2, es decir, el misil teledirigido del que se sirvieron los nazis para bombardear Londres durante la segunda guerra mundial.

Como en aquella época todavía no era posible situar un satélite en una órbita estable alrededor de la Tierra, el experimento tuvo una duración limitada, pero detectó los rayos X del Sol. Este resultado representaba el nacimiento de la astronomía espacial y abría una nueva época para la astronomía en general.

En 1962, un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology lanzó uno de estos cohetes con un contador Geiger a bordo, es decir, un instrumento utilizado en física nuclear para la medida de radiaciones de alta energía, con el fin de medir de nuevo los rayos X solares. Inesperadamente, se detectó una intensa emisión de rayos X procedente de una fuente desconocida en la dirección de la constelación de Escorpión: Sco X-1.

Abajo, imagen pictórica del satélite Asca, lanzado en 1993 y todavía en órbita. Es el satélite X con mejor resolución espectral.



UN DESCUBRIMIENTO SIGNIFICATIVO

El descubrimiento de Sco X-1 inició una etapa importantísima de la astronomía, porque representó el primer caso de un objeto celeste descubierto a través de su emisión en una banda del espectro diferente de la óptica. Esto animó a los astrónomos a proyectar y realizar nuevas misiones, pero sin utilizar cohetes, sino satélites colocados en órbita alrededor de la Tierra que pudiesen observar el cielo durante períodos más largos.

En astronomía de altas energías es una práctica común clasificar los diferentes tipos de radiación no según la longitud de onda, sino según la energía (magnitudes inversamente proporcionales). La unidad de medida utilizada es el electronvoltio (eV) y sus múltiplos: el kiloelectronvoltio (keV) y el megaelectronvoltio (MeV), respectivamente mil y un millón de veces mayores. Físicamente, el electronvoltio representa la energía cinética que adquiere un electrón sometido a una diferencia de potencial de un voltio. A esta escala, la energía de un fotón de luz visible (5.500 angströms) es aproximadamente de 1 eV, mientras que la de los rayos X oscila entre 100 eV y unas decenas de keV; los de varios centenares de keV se llaman rayos X «duros» y a partir de 1 MeV se llaman rayos gamma.





El Exosat, lanzado en 1983, representó la entrada de Europa en el campo de los satélites X. Fue operativo hasta el 9 de abril de 1986 y se dedicó al estudio de fuentes específicas.

LOS PRIMEROS SATÉLITES

El primero de una larga serie de satélites dedicados exclusivamente al estudio de las fuentes X cósmicas fue el SAS-1 (Small Astronomical Satellite), que se rebautizó rápidamente como Uhuru, que en la lengua swahili significa «libertad». El Uhuru se lanzó en diciembre de 1970 y permaneció durante cuatro años en una órbita a unos 500 km de la Tierra (período 96 minutos). La instrumentación de este satélite permitía observar en el rango de energía de 2 a 20 keV. El Uhuru efectuó la primera exploración completa *(survey)* del cielo en rayos X y detectó por lo menos 339 fuentes, la mayor parte de las cuales resultaron ser binarias X, galaxias Seyfert o cúmulos de galaxias.

Sin embargo, la precisión de la determinación de la posición de las fuentes era bastante escasa, del orden de unos minutos de arco, lo que hacía extremadamente difícil su identificación.

La imagen de la izquierda muestra el lanzamiento del satélite X Rosat, efectuado por medio de un lanzador Delta II, el día 1 de junio de 1990.

PERSONAJES

RICCARDO GIACCONI

Uno de los protagonistas del descubrimiento de Sco X-1 fue el astrofísico italiano Riccardo Giacconi, que actualmente tiene la ciudadanía estadounidense. Licenciado en física por la Universidad de Milán en 1954, Giacconi inició su actividad de investigación en Italia. En 1956 se trasladó a Estados Unidos, donde trabajó varios años en la Universidad de Princeton. En 1959 inició su colaboración científica con otro gran físico italiano recientemente fallecido: Bruno Rossi. El descubrimiento de la primera fuente X extrasolar representó para Giacconi el principio de una brillante carrera, no sólo como investigador, sino también como responsable de proyectos científicos.
En 1973 fue nombrado profesor de la prestigiosa Universidad de Harvard, y al poco tiempo se encargó de la realización del satélite Einstein para astronomía. En la década siguiente se dedicó al proyecto del telescopio espacial Hubble, y de 1981 a 1993 fue director del Space Telescope Science Institute de Baltimore. Actualmente es director del Observatorio Europeo Austral (ESO).



Imagen de las fases preparatorias del lanzamiento del satélite XTE. Lanzado en 1995, tiene capacidad para observar acontecimientos astronómicos muy próximos en el tiempo.

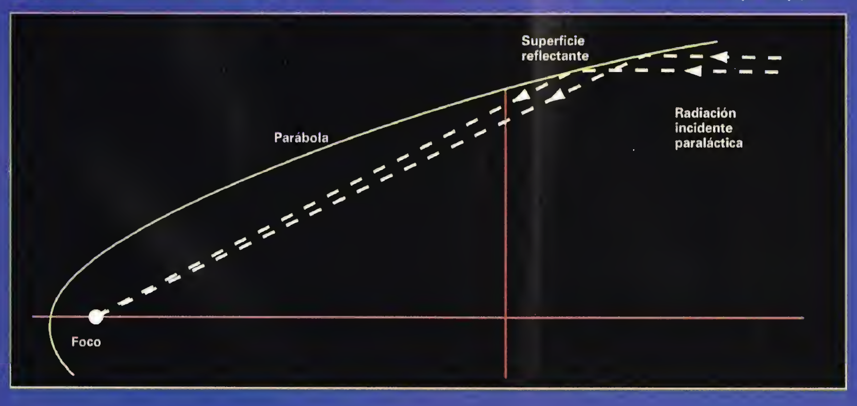
Al cabo de varios años le siguió el satélite Ariel-V, lanzado desde la plataforma San Marco en el océano Índico. Estaba equipado con cuatro detectores diferentes que podían trabajar en diversos intervalos de energía y que, en conjunto, cubrían la región de 0,3 a 30 keV.

Entre los descubrimientos de este satélite hay que recordar los púlsares de rayos X y la identificación de numerosas galaxias Seyfert. Como cubría una zona de cielo más reducida, sólo pudo observar (o reobservar) 250 fuentes. Casi al mismo tiempo se trabajó



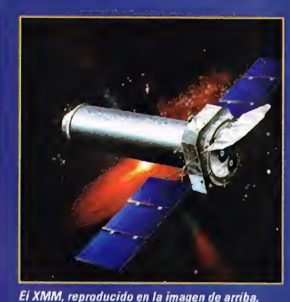
El satélite Rosat es sometido a pruebas y ensayos en tierra antes de su lanzamiento.

Abajo, ilustración del principio de funcionamiento de la óptica de incidencia rasante utilizada en los telescopios de rayos X. Los fotones se hacen incidir en el espejo con un ángulo muy elevado; de otro modo, en vez de ser reflejados, serían absorbidos por el espejo.



LOS PRINCIPALES SATÉLITES X DE LOS ÚLTIMOS AÑOS

SATÉLITE	NACIONALIDAD	LANZAMIENTO	DURACIÓN
UHURU	ESTADOS UNIDOS	1970	1 año y 4 meses
ARIEL-V	GRAN BRETAÑA	1974	5 años y 6 meses
SAS-3	ESTADOS UNIDOS	1975	4 años
EINSTEIN	ESTADOS UNIDOS	1978	2 años y 6 meses
EXOSAT	EUROPA	1983	2 años y 11 meses
ROSAT	ALEMANIA	1990	en órbita
ASCA	JAPÓN	1993	en órbita
XTE	ESTADOS UNIDOS	1995	en órbita
BEPPO-SAX	ITALIA Y HOLANDA	1996	en órbita



El XMM, reproducido en la imagen de arriba, es un satélite para rayos X de la Agencia Espacial Europea. Su lanzamiento se producirá en 1999.

con el tercer satélite de la serie SAS. Con el SAS-3 se dio un paso cualitativo en la capacidad de localización de fuentes X al lograr una precisión de unos 15 segundos de arco en el intervalo de energía de 0,1 a 55 keV. Además, el SAS-3 fue el primero en llevar montados detectores ópticos para proporcionar al mismo tiempo una visión del cielo en las dos bandas. Entre los principales descubrimientos recordamos las binarias X eruptivas y la emisión X de enanas blancas en sistemas binarios. Como el primero de la serie, el satélite SAS-3 también efectuó una exploración general del cielo.

IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES X

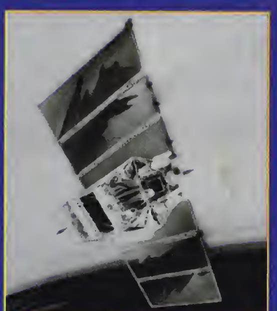
Identificar una fuente de rayos X, así como una de rayos gamma, quiere decir localizar el cuerpo celeste (estrella, galaxia, etc.) causante de la emisión. En la práctica, esto se logra superponiendo las coordenadas de la fuente X a la imagen óptica de la región del cielo de interés para ver si coincide con la posición de cualquier cuerpo celeste visible más o menos conocido. Pero el problema es que las coordenadas de la fuente X se conocen con una incertidumbre que, en el caso de los primeros satélites, incluso llegaba a ser de varios minutos de arco y, por tanto, su contrapartida debía buscarse entre los cuerpos celestes que quedaban comprendidos dentro de un círculo del mismo radio (llamado círculo de error). Con los satélites más recientes, este margen de incertidumbre se ha reducido a una decena de segundos de arco o menos. Sin embargo, también en este caso puede entenderse que dentro del círculo de error existen varios objetos. ¿Qué hacer en este caso? La técnica es identificar dichos objetos mediante la fotometría o la espectroscopia para descubrir si pueden ser fuentes de rayos X más o menos brillantes.

LOS SATÉLITES MODERNOS

El primer satélite de la nueva generación fue el segundo de la serie HEAO (High Energy Astronomical Observatory), rebautizado como Einstein una vez puesto en órbita para celebrar el centenario del nacimiento del padre de la relatividad. El Einstein fue el primer satélite que proporcionó imágenes del cielo en rayos X, con una resolución de muy pocos segundos de arco, un campo de visión de varias decenas de segundo y una sensibilidad (0,2 a 3,5 keV) mil veces superior a la de sus predecesores. En el transcurso de su vida operativa, el Einstein efectuó algo así como cinco mil observaciones, que condujeron al descubrimiento de millares de nuevas fuentes de todo tipo.

En 1983, con el Exosat, Europa entró en el campo de los satélites X, hasta entonces dominado por Estados Unidos. Al mismo tiempo, Japón también entraba en este campo con los satélites de la serie Astro, puestos en órbita en los años ochenta. El último de ellos (Astro-D) se lanzó en 1993 y se rebautizó poéticamente con el nombre de Asca, que, además del acrónimo científico, en lengua japonesa significa «pájaro que se balancea por el cielo». El Asca, todavía en órbita, es un feliz ejemplo de cooperación científica internacional porque, a pesar de ser japonés, lleva a bordo instrumentación de fabricación estadounidense. Entre los satélites X construidos hasta ahora, el Asca

Representación pictórica del satélite para astronomía X SAX. Se trata del primer satélite astronómico lanzado por la ASI (Agencia Espacial Italiana). Actualmente en órbita, está efectuando importantes observaciones para la explicación del fenómeno de las erupciones gamma (Gamma Ray Bursts).



El satélite Ariel-V, lanzado hace 20 años, hizo importantes descubrimientos en el campo de la astronomía X. Especialmente, identificó por primera vez los púlsares de rayos X.





El Uhuru, reproducido en este dibujo, fue el primer satélite dedicado totalmente a la astronomía X del espacio. Su misión comenzó el 12 de diciembre de 1970 y concluyó en marzo de 1973.

es el que está dotado de una capacidad más aguda para distinguir fotones X de diferentes energías (resolución espectral). Además, ha sido el primero en emplear detectores CCD en el campo de la astronomía X. En cambio, el satélite XTE es el que tiene la mayor resolución temporal, lo cual le permite estudiar mejor fuentes que varían rápidamente. Entre estas últimas se encuentran los púlsares X.

Entre las misiones de carácter nacional sobresalen el alemán Rosat, un veterano con más de siete años de actividad a las espaldas, y el italo-holandés Beppo-SAX, el primer satélite para astronomía lanzado por la ASI.

Hay nuevos satélites preparados para ser puestos en órbita en los próximos diez años. El primero será el AXAF-I (1999), seguido del XMM (1999) de la ESA. Al mismo tiempo, Alemania está preparando el Abrixas y Japón el Astro-E. Por tanto, en la astronomía X hay muchos nuevos capítulos en espera de ser escritos.

LOS ESPEJOS PARA RAYOS X

Si bien los telescopios ópticos pueden recoger y enfocar los fotones mediante espejos, para los de rayos X esto es más complicado. Su longitud de onda es comparable a las distancias interatómicas de los sólidos y, por tanto, tienen tendencia a ser absorbidos por el material que constituye el espejo, en lugar de ser reflejados. Sin embargo, los rayos X de menor energía pueden enfocarse adecuadamente utilizando espejos y técnicas particulares. Uno de los sistemas más eficaces consiste en hacer incidir los rayos X «sesgados» sobre las paredes del espejo y utilizar para éste materiales de número atómico elevado (por ejemplo, oro o níquel), que favorecen su reflexión. En algunos casos, para disponer de una amplia superficie reflectante y evitar la construcción de un espejo de enormes dimensiones, se emplea una serie de espejos de dimensiones ligeramente diferentes, encajados unos dentro de otros como las cajas chinas. El enfoque de los fotones permite efectuar un posicionamiento más preciso de la fuente y, por tanto, obtener imágenes X con mayor definición.

Tabla de los satélites para rayos X puestos en órbita en función de su fecha de lanzamiento; se indica también la duración de su vida operativa.

Minisat-1
SAX
IRS-P3
NEAR
XTE
GGS Wind
Alexis
Asca
DXS
Eureca
BBXRT
Ulysses
Rosat
Granat
Phobos-2
Phobos-1
Kvant
Ginga
Spacelab-2
Spartan-1
Spacelab-1
Exosat
Astron
Tenma
Venera-14
Venera-13
Primeras misiones
Misión
1980
1985
1990
1995
Año

BASES ESTADOUNIDENSES

Las principales bases de lanzamiento para vehículos espaciales, tanto en Estados Unidos como en Rusia, crecieron alrededor de los núcleos creados en la fase más aguda de la «guerra fría», con el fin de montar y utilizar misiles de largo alcance. Con el paso del tiempo, algunas de ellas han dejado de ser secretas y se han convertido en los lugares de la Tierra tecnológicamente más avanzados.



Al final de la segunda guerra mundial, Estados Unidos estaba en posesión de cinco pequeños polígonos para misiles: Allegheny Ballistic Laboratory (ABL), en Pinto (Virginia Occidental); Goldstone Range, al norte de Barstow (California); Pendleton Range, en Camp Pendleton (California); Naval Ordinance Test Station (NOTS), en Inyokern (California), y Hueco Range, en Fort Bliss (Texas). Sin embargo, el alcance máximo de los cohetes que se probaban en estas instalaciones no superaba los 15 km.

En 1945 se crearon tres nuevos centros para hacer frente al mayor radio de acción de los misiles de la posguerra. El primero de ellos fue Wallops Flight Center, un polígono de 80 km de longitud, inaugurado el 27 de junio en Wallops Island (Virginia), del National Advisory Committee on Aeronautics (NACA), para lanzar cohetes sonda. La segunda instalación fue White Sands Missile Range, un polígono en Nuevo México, cerca de Hueco Range, inaugurado el 9 de julio. La tercera instalación fue el polígono denominado Naval Air Facility, en Point Mugu (California), inaugurado en diciembre para superar las limitaciones físicas y los problemas de hacinamiento de la NOTS.

A principios de 1960, el polígono de White Sands se prolongó hacia el norte unos 65 km.



Las imponentes estructuras de la base espacial de Cabo Cañaveral. Su historia es ya cincuentenaria y, sin duda, se trata de la base estadounidense más importante y famosa en el campo de la astronáutica. Está formada por dos partes: una de ellas gestionada por la NASA y otra por la USAF (fuerza aérea estadounidense), aunque funcionan como una estructura única.



Fotografía aérea del VAB (Verticle Assembly Building), el elevado edificio situado en Cabo Cañaveral, donde se montaban y se siguen montando los vehículos espaciales, desde los Saturno-V, que llevaron al hombre a la Luna, hasta el transbordador espacial.

Cuando se lanza un misil, los datos más importantes son los registrados durante el lanzamiento y poco antes del impacto contra el blanco, es decir, en los dos extremos de su trayectoria. Aprovechando esta realidad, en 1956 se iniciaron en White Sands unas pruebas de un polígono a otro con el vuelo de un misil alado Matador, que fue lanzado desde la vecina base aérea de Holloman (Nuevo México) y que llegó a la base aérea de Wendover (Utah).

CABO CAÑAVERAL: LA BASE PARA LA LUNA

Sin embargo, la base espacial más famosa es seguramente la de Cabo Cañaveral, en Florida, donde está instalado el Kennedy Space Flight Center de la NASA. Se encuentra a una latitud de 28,5° N y a una longitud de 80,5° O.

Su historia empieza en 1947, cuando el departamento de guerra de Estados Unidos escogió esta lengua de tierra con marismas, hostil para el hombre, para efectuar una serie de pruebas con cohetes a cargo de las tres fuerzas armadas. Dos Bum per-Wac, unos cohetes formados por una V2 confiscada a los alemanes y un pequeño cohete Wac Corporal como segunda etapa, fueron los primeros misiles considerados oficialmente como los primeros «cohetes» que partieron de la base de lanzamiento de Cabo Cañaveral.

Esto sucedía el 24 y el 29 de julio de 1950. El 31 de enero de 1958, casi ocho años más tarde, desde

la rampa número 2 se lanzó el primer satélite estadounidense Explorer-1 a bordo de un cohete Jupiter-C.

A comienzos de los años setenta, después de que el presidente Kennedy lanzara el reto de enviar un hombre a la Luna, la NASA se dedicó a buscar un lugar adecuado para instalar su base de lanzamiento.

Descartadas algunas zonas del sur de Texas y de la costa oeste, la decisión recayó una vez más en Florida, cerca de la base de aviación militar de la isla de Merrit. Desde entonces, los dos centros de lanzamiento, el Kennedy Space Flight Center de la NASA y la Cape Canaveral Air Force Station de la USAF, funcionan como un conjunto.

La base se extiende sobre una superficie de 55 hectáreas de tierra y marismas, donde todavía vive libremente mucha fauna salvaje. Sin duda, entre los elementos más importantes destacan el edificio VAB (Verticle Assembly Building), cuyo cuerpo principal tiene una altura de 160 m, la estructura que alberga la Orbiter Processing Facility, el Launch Control Center, las rampas de lanzamiento PAD 39A y 39B y, finalmente, la pista de aterrizaje de 5.182 m de longitud y 91,44 m de anchura sobre la que aterriza el transbordador espacial.

De esta base han salido decenas de cohetes Redstone, Vanguard, Atlas, Delta, Scout, Titan, Saturno-I, Saturno-V y Pegasus, así como el transbordador espacial. Actualmente, la misión se prepara y dispone en el interior de la Orbiter Processing Facility, desde la que se transfiere al VAB, en cuyo interior también se montaban los gigantescos cohetes Saturno-V que partían hacia la Luna. Aquí se acoplan el gran depósito para el hidrógeno y el oxígeno y los dos propulsores auxiliares al transbordador en posición vertical.



La Vandenberg Air Force Base, situada a medio camino entre Los Ángeles y San Francisco, en California, se utiliza sobre todo para misiones de tipo militar. Construida en 1957, es empleada ocasionalmente por la NASA para el lanzamiento de satélites o como pista de aterrizaje de emergencia para el transbordador en caso de que no esté disponible Cabo Cañaveral.

Luego el transbordador se traslada a uno de los PAD, situados a 6 km del VAB, a bordo de un gran tractor que recorre el trayecto en 50 horas, y desde el PAD se lanza al espacio. Terminada la misión, el transbordador aterriza en la pista situada a 3 km al noroeste del VAB, al cual está unida por una carretera.

Durante el lanzamiento espacial, el Launch Control Center tiene la responsabilidad hasta que el lanzador despega de la rampa de lanzamiento. En este momento, el control del vehículo espacial pasa a otros centros de la NASA, según el tipo de misión. Por ejemplo, el control de la mayor parte de los satélites científicos y de aplicación es asumido por el Goddard Space Flight Center (GSFC), situado a 24 km de Washington. El control de las misiones interplanetarias queda bajo la responsabilidad del Jet Propulsion Laboratory (JPL), que se encuentra en Pasadena (California).

Finalmente, la gestión de los vuelos humanos la realiza el Johnson Space Center (JSC) de Houston (Texas), que empezó su actividad con la misión orbital Gemini-4 en junio de 1965.

Diversas y obvias fueron las razones técnicas que aconsejaron la elección de Cabo Cañaveral como base espacial.

Además de los motivos de seguridad y económicos (bajo coste del terreno, totalmente yermo, y bajísima densidad de población en las zonas circundantes), existe la posibilidad de que los lanzadores partan hacia el este en dirección al océano Atlántico, con una inclinación sobre el ecuador que puede variar entre 28 y 57 grados. De esta manera, los cohetes pueden beneficiarse de una velocidad adicional proporcionada por la rotación terrestre (de oeste a este), del orden de 1.500 km/h en la latitud de 28 grados, la de Cabo Cañaveral. De esta manera, cuando los cohetes llegan a las costas africanas,



El Vanguard SLV-3 fue lanzado desde Cabo Cañaveral. Puede decirse que constituyó un fracaso, ya que la segunda fase no desarrolló un empuje suficiente. Era el 26 de septiembre de 1958.



A la izquierda, imagen aérea de la base espacial estadounidense de Wallops Island. Lo mismo que otras pequeñas bases, se utilizó para la experimentación de vehículos y para el entrenamiento de los astronautas.



A la derecha, otra imagen de la base de Wallops Island. Desde ella sólo puede partir un tipo de lanzador, el Scout.

situadas a 6.000 km de distancia, ya han alcanzado la altura a la que un satélite está en órbita.

VANDENBERG: LA BASE MILITAR

Estados Unidos tenía necesidad de una base para el entrenamiento en condiciones reales de las tripulaciones que deberían tener la responsabilidad de los ICBM y los IRBM desarrollados en Cabo Cañaveral, y, en enero de 1956, se tomó la decisión de construir una. Después de examinar más de 200 zonas de propiedad del gobierno federal, el departamento de defensa eligió una antigua instalación militar, llamada Camp Cooke, situada a medio camino entre Los Ángeles y San Francisco, lejos de la costa del Pacífico. Se extendía desde las colinas de Point Arguello, al sur, y comprendía el río Santa Ynez y la Burton Mesa, hasta las Casmalia Hills, al norte. En junio de 1957, la zona de Camp Cooke al norte de Santa Ynez se convirtió en la Camp Cooke Air Force Base (AFB). El 4 de octubre de 1958, este nombre se cambió por el de Vandenberg AFB.

La base está a 34,7° N de latitud y a 120,4° O de longitud.

El primer misil que utilizó las nuevas instalaciones fue un Thor, el 16 de diciembre de 1958. El primer lanzamiento con puesta en órbita (un Thor-Agena-A derivado del SLC-IW, conocido como 75-3-4) se produjo el 2 de febrero de 1959 y sólo era el segundo lanzamiento de la historia de Vandenberg.

La importancia de este lanzamiento residía en el hecho de que el satélite Discoverer-1, de reconocimiento fotográfico, fue el primer satélite artificial en describir una órbita polar. Vandenberg ofrece unas condiciones ideales para lanzamientos en órbita polar, porque la primera tierra que emerge del agua es la Antártida. Los satélites para la ayuda a la navegación de la US Navy, antes conocidos como Transit, también se lanzaban desde Vandenberg. Y aparte de los satélites militares, la NASA ha lanzado en órbita polar muchos satélites, entre ellos los Landsat.

Un aspecto interesante de las operaciones del transbordador en Vandenberg es el empleo de la actual pista de la base para su aterrizaje en caso de problemas en Cabo Cañaveral.



Abajo, fotografía parcial del Kennedy Space Flight Center, en Florida, en la que se aprecia la pista de aterrizaje realizada para el transbordador Columbia. La enorme área de la base surge en un terreno relativamente poco poblado y totalmente baldío. Los lanzamientos se efectúan hacia el este, en dirección al océano Atlántico. Esto es importante por motivos de seguridad.

LAS OTRAS BASES

Edwards: está a 34,7° N de latitud y a 118,1° O de longitud. De ella partían los aviones B-52 y L-1011 para lanzar los X-15, los Pegasus y otros soportes de lanzamiento.

Matagorda Island: está a 28,5° N de latitud y a 96,5° O de longitud. Su posición es óptima para el lanzamiento de cohetes comerciales.

Wallops Island: está a 37,9° N de latitud y a 75,3° O de longitud. En esta base se desarrolló una gran actividad con cohetes sonda y al principio del proyecto Mercury se efectuaron los primeros acoplamientos en vuelo de la cápsula que después alojó a John Glenn. El único cohete lanzador que puede llevar en órbita satélites y que puede lanzarse desde Wallops es el Scout.

White Sands: está a 32,5° N de latitud y a 106,2° O de longitud. Fue el lugar en que se experimentaron las V2 al final de la segunda guerra mundial.
A comienzos de los años noventa se experimentó aquí el Delta Clipper, prototipo de un cohete que fue sustituido por el transbordador.

Sea Launch Odyssey: será una base flotante de lanzamiento móvil, que se irá posicionando a lo largo del ecuador. A partir de 1998 lanzará al espacio satélites de varios tipos con lanzadores rusos.
El proyecto está apoyado por un consorcio internacional de empresas que operan conjuntamente.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

ASTEROIDES Y CRÁTERES TERRESTRES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

CATÁLOGOS ASTRONÓMICOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

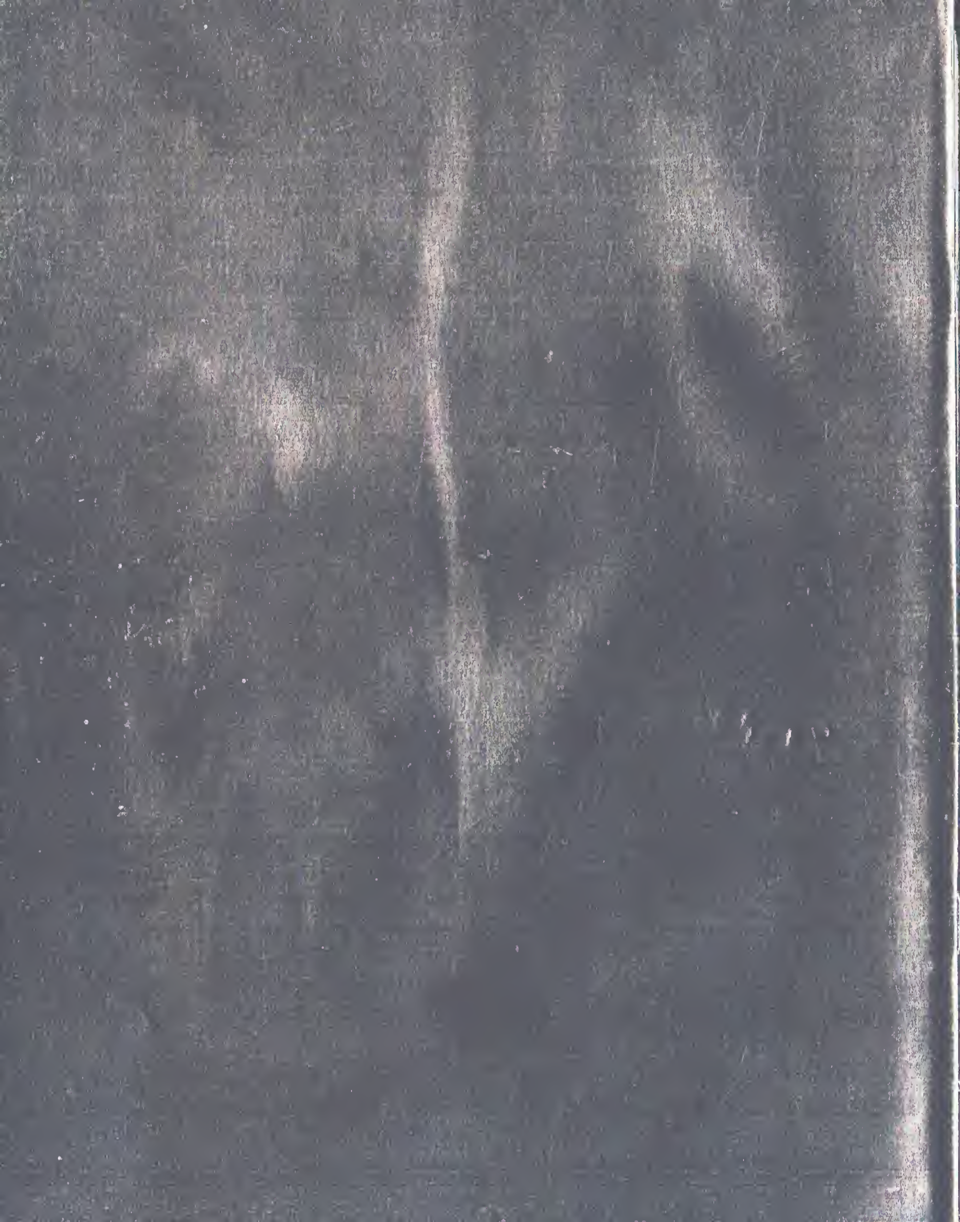
EL DELFÍN

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA ABERRACIÓN ASTRONÓMICA

LA EXPORACIÓN DEL ESPACIO

ACCESORIOS PARA TELESCOPIOS



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

52



9 788439 554219 10052
$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA			
Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.



PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

N.º de tapas que solicita:

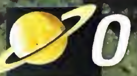
Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

ASTEROIDES Y CRÁTERES TERRESTRES

La Luna aparece constelada de cráteres de distintos tamaños. La razón de este atormentado paisaje es el súbito bombardeo de la superficie lunar por parte de un número considerable de asteroides y cometas. La Tierra también presenta cicatrices similares a las lunares, pero la atmósfera hace de escudo contra los objetos más pequeños y erosiona los cráteres durante milenios, dejando pocos rastros.



Observemos con unos prismáticos la Luna cerca de la fase de cuarto creciente. Incluso con un instrumento modesto podremos detectar numerosos cráteres, especialmente visibles cerca del terminador, la línea que divide la parte iluminada de la parte en sombra.

Con un instrumento de mayor tamaño se puede distinguir una gran variedad de tamaños de cráteres, con unas dimensiones que en los mayores alcanzan varios cientos de kilómetros.

¿Cuál es el origen de estas formaciones? Las causas que han llevado al nacimiento de los cráteres son dos: erupciones volcánicas y caídas de meteoritos. En el caso de la Luna, el factor preponderante ha sido el segundo.

Las sondas interplanetarias nos han enviado imágenes de los demás planetas del sistema solar. En los objetos carentes de una gruesa atmósfera, como Mercurio, Marte o algunos satélites de los planetas mayores, se observan también cráteres.

El cráter Meteoro, en el desierto de Arizona (fotografía a toda página), es el más famoso de los cráteres provocados por las colisiones de la Tierra con otros objetos del sistema solar. Dicho cráter permite hacerse sólo una pálida idea de lo destructivo que puede ser un impacto con un asteroide. Se cree que este cráter fue obra de una colisión acaecida hace unos 50.000 años con un cuerpo de decenas de metros de diámetro.



Se cree que la extinción de los dinosaurios, ocurrida hace 65 millones de años, se debió a la colisión con un asteroide del tamaño de Gaspra. No se habría tratado de un caso único en la historia de la vida en la Tierra; periódicamente, catástrofes similares habrían llevado a extinciones en masa de las especies vivientes.

CRÁTERES EN LA TIERRA

La Tierra no es una excepción, si bien la densidad de cráteres presentes en su superficie es muy baja. Las dos razones por las cuales la Tierra es muy pobre en cráteres son la presencia de una atmósfera relativamente gruesa y la renovación de la superficie debida a la actividad volcánica y tectónica.

Esta última modifica el aspecto de la corteza terrestre, haciendo salir a la superficie material interno que recubre los estratos más antiguos de la corteza y remodelando el aspecto orográfico mediante la creación de cadenas montañosas, producto de los movimientos de las placas continentales.

Pese a la presencia de la atmósfera y de lo que en la jerga técnica se llama actividad endógena (los fenómenos ligados al vulcanismo y a la orogénesis), la Tierra presenta cicatrices de encuentros con objetos menores del sistema solar acaecidos en un pasado más o menos remoto.

El ejemplo más famoso es seguramente el cráter Meteoro del desierto de Arizona, en Estados Unidos, un agujero de casi un kilómetro y medio de diámetro y con una profundidad de unos doscientos metros, cuyos bordes se elevan unos 50 m por encima de la llanura circundante.

LAS GRANDES EXTINCIONES

La formulación de la teoría que explica la extinción de los dinosaurios a partir del desastroso impacto entre la Tierra y un asteroide se ha aprovechado para suponer que un mecanismo similar habría estado en la base de otras grandes extinciones repetidas en el curso de millones de años. Como éstas parecen tener lugar a intervalos bastante regulares, se ha pensado en la existencia de una estrella compañera del Sol capaz de inducir perturbaciones gravitacionales sobre los cuerpos más exteriores del sistema solar, alterando sus órbitas y haciéndolos caer en las regiones próximas a la Tierra, lo que aumenta la probabilidad de colisión entre ésta y tales objetos. Pero la búsqueda de esta estrella no ha dado ningún resultado positivo.

EL EFECTO DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera desempeña un doble papel sobre los impactos de los asteroides.

Supongamos que un cuerpo pasa tan cerca de la Tierra que es capturado por el campo gravitatorio de nuestro planeta.



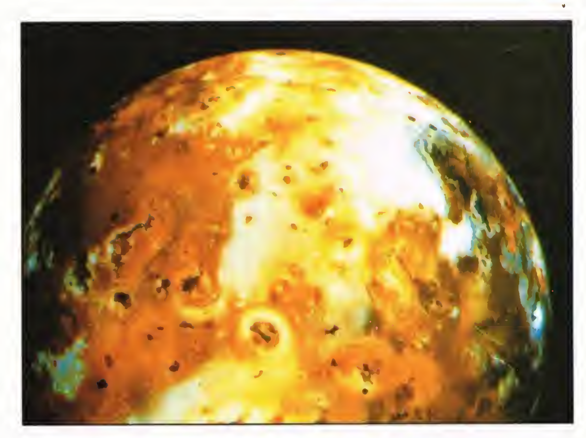
En la región siberiana de Tunguska se produjo en 1908 un fenómeno catastrófico que se ha atribuido en años recientes al paso por la atmósfera de un meteorito de unos 100 m de diámetro. Precisamente porque el cuerpo celeste no llegó a la superficie, no se formó un cráter; se produjo sólo una onda de choque que abatió numerosos árboles y fue oída a cientos de kilómetros de distancia.

A medida que se acerca a la superficie, va encontrando capas cada vez más densas de la atmósfera. Como éstas oponen cierta resistencia, el objeto celeste empieza a calentarse y a evaporarse, hasta el punto de que, si su tamaño es lo bastante pequeño o el cuerpo tiene poca cohesión, no logra alcanzar la superficie de la Tierra, pues se destruye antes de haber tocado el suelo. El primer efecto de la atmósfera, por tanto, consiste en proteger la superficie del planeta en que vivimos de los impactos con los cuerpos de menor tamaño, o, en general, de reducir el potencial destructivo de estos objetos siderales.

El segundo efecto es análogo al de una goma de borrar. La atmósfera terrestre dista de ser un gas inmóvil: se crean continuamente en ella vientos que barren la superficie terrestre con mayor o menor



Los objetos del sistema solar carentes de atmósfera, como Mercurio, están densamente craterizados. Las atmósferas planetarias pueden desintegrar, parcialmente al menos, los cuerpos espaciales que impactan sobre los planetas y erosionar los cráteres que se forman en las colisiones.



La superficie del satélite de Júpiter Io carece de cráteres de impacto porque su notable actividad volcánica remodela la corteza de este objeto celeste, anulando las huellas de colisiones más o menos remotas.

fuerza. El polvo que levantan estos movimientos de aire actúa ininterrumpidamente, como papel de lija, sobre las estructuras presentes en la corteza terrestre.

Mucho más pronunciado es el efecto de las lluvias que periódicamente caen sobre casi toda la Tierra, con exclusión de las zonas más áridas del planeta. El martilleo de las gotas de lluvia, unido a la acción química de los gases atmosféricos, especialmente del oxígeno, provoca una lenta pero progresiva disgregación incluso de las rocas más resistentes, con el subsiguiente efecto de reducción de las asperezas del terreno. Así es como se puede establecer la edad de una cadena montañosa: cuanto más ha estado expuesta a la acción de los agentes atmosféricos, tanto más redondeado es el aspecto de los montes que la componen.

Los cráteres formados por los meteoritos de mayor tamaño no escapan de esta acción de cancelación de la atmósfera terrestre, por lo que desaparecen al cabo de millones de años.

TUNGUSKA 1908: ¿ASTEROIDE O COMETA?

En 1908 ocurrió un suceso catastrófico en Siberia, cerca de la frontera con Mongolia, no lejos del lago Baikal.

La mañana del 30 de junio de aquel año, muchas personas vieron un resplandor en el cielo, seguido de inmediato por una explosión que conmocionó el bosque que dominaba la zona. Los fenómenos se oyeron en 1.000 km a la redonda.

Hubo que esperar a 1927 para que una expedición enviada a averiguar lo sucedido lograra llegar al lugar del misterioso fenómeno. Sin embargo, una vez allí, se descubrió sólo una vasta depresión de 7 km de anchura creada por la explosión. No se encontraron rastros de meteoritos ni cráteres de impacto. Los árboles habían sido abatidos y quemados, como si hubieran sufrido una potentísima corriente de aire.

Durante decenios, el caso de Tunguska permaneció como un misterio. Se avanzaron dos hipótesis para explicarlo: o bien se trataba de un asteroide que había pasado cerca de la superficie, sin llegar a impactar con el suelo, o bien la Tierra había sido golpeada por el núcleo de un cometa. Estos astros tienen un núcleo poco compacto, lo que podría explicar fácilmente la falta de fragmentos meteoríticos.

Recientes cálculos, sin embargo, han demostrado que esta segunda hipótesis, más sugestiva, debe descartarse en favor de la primera, porque un cometa se habría desintegrado en un punto demasiado alejado de la superficie terrestre para poder producir los efectos observados. La causa del fenómeno habría sido un asteroide de tipo rocoso de cientos de metros de diámetro.

LA EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS

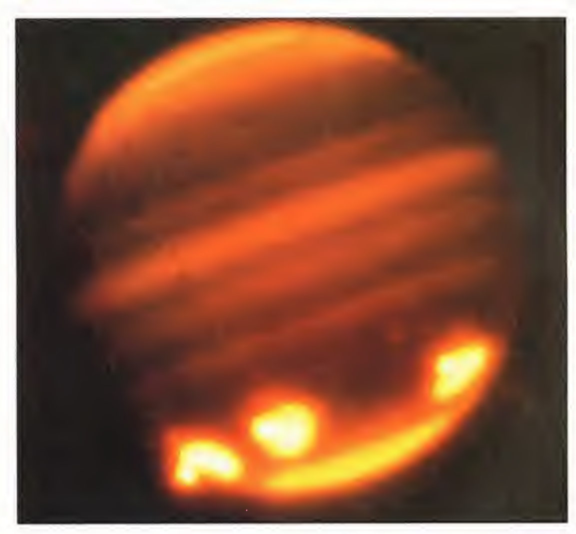
El caso de Tunguska, pese a su espectacularidad y carácter destructivo, es en realidad muy poca cosa comparado con

Los meteoros que a veces dejan estelas luminosas en la noche son generados por polvo capturado por el campo gravitacional terrestre. Se trata de objetos de tamaño mínimo; cuerpos mayores podrían llegar hasta la superficie terrestre.



El lago Manicouagan, en Canadá, fue creado por la erosión de un cráter producido hace unos 200 millones de años por un meteorito; el diámetro de esta estructura anular es de un centenar de kilómetros. El borde del cráter ha sido erosionado más fácilmente por los agentes atmosféricos y por la acción de los glaciares de las eras glaciales, mientras que las rocas interiores del cráter han resistido mejor la acción de la erosión.





La reciente caída del cometa Shoemaker-Levy sobre Júpiter no debe hacer pensar en un suceso especialmente fortuito. Los cometas pueden chocar con todos los cuerpos del sistema solar y también la Tierra en el pasado sufrió seguramente impactos de estos objetos celestes, si bien no queda rastro de ellos. En general, es difícil que un cometa pueda generar un cráter en la superficie de nuestro planeta, como lo hacen los asteroides de dimensiones mayores, a causa de la estructura de los núcleos cometarios, formados en general por materiales poco ligados.

lo que puede suceder si el objeto que colisiona tiene varios kilómetros de diámetro. Los sucesos de este tipo tienen consecuencias todavía más desastrosas.

La colisión entre la Tierra y un objeto de tamaño medio-grande (piénsese en un objeto de una decena de kilómetros de diámetro) parece haber estado en el origen de la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años.

Un impacto como éste puede verter a la atmósfera una gran cantidad de polvo, producto del choque, y de material procedente de la corteza.

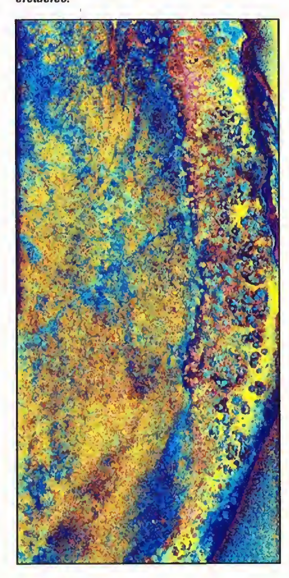


Un asteroide de 10 km de diámetro puede atravesar la atmósfera sin graves consecuencias para su estructura y llegar a la superficie sin haber perdido mucha masa. Las capas más densas de la atmósfera tienen unos 10 km de espesor, por lo que un asteroide de estas características las atravesaría rápidamente. Una vez llegado a la superficie, este objeto mantendría buena parte de su potencial destructivo, que se liberaría en el impacto, levantando cantidades ingentes de polvo hasta las capas más altas de la atmósfera. La circulación de los vientos a gran altura favorecería luego la dispersión de este material por todo el globo planetario, alterando su clima durante muchos años y generando un invierno de años de duración. Un escenario apocalíptico como éste podría explicar la desaparición casi súbita de los grandes reptiles que vivieron en épocas remotas: incapaces de adaptarse al rápido cambio de clima, estos animales habrían muerto también a causa de la desaparición de las plantas que constituían la base de su pirámide alimentaria, desaparecidas por los mismos motivos y por la caída de lluvias ácidas generadas por los aerosoles formados con el polvo levantado por la explosión.

Esta sugestiva hipótesis recibe apoyo de la anómala abundancia de un isótopo del iridio en una capa de roca correspondiente al período de la desaparición de los

Un cráter de impacto en el cual ha permanecido rastro del pico central es el que ahora forma el lago Mistastin, en Canadá, una cuenca de 28 km de diámetro (a la izquierda). El pico, provocado por el rebote del material del cráter, es actualmente una isla en medio del lago. El cráter data de hace unos 40 millones de años.

Abajo, imagen computerizada de una porción del cráter de Chicxulub, en Yucatán (México). Esta formación se remontaría a unos 65 millones de años y sería la cicatriz dejada en la corteza terrestre por el impacto que causó la extinción de los dinosaurios a fines del período cretácico.





Los meteoritos son fragmentos de los objetos que impactan sobre la Tierra procedentes del espacio. Son de tamaño y de composición química variables: se pasa de rocas carbonáceas a otras ricas en metales, sobre todo hierro y níquel. Estas últimas son las más resistentes al rozamiento atmosférico y pueden producir efectos importantes al llegar a la superficie terrestre.

dinosaurios y atribuible a la difusión de grandes cantidades de material asteroidal.

Desde que se formuló la hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios se ha buscado por todo el planeta la señal del impacto entre nuestro planeta y un asteroide lo bastante grande como para producir los fenómenos catastróficos descritos.

Se ha hallado un candidato en la península de Yucatán, en México, medio sumergido en el golfo del Caribe. Este cráter posee un diámetro de unos 200 km, el tamaño justo para un objeto de unos 10 km de diámetro, y su datación parece confirmar que el impacto coincidió con la desaparición de los grandes reptiles





El cráter de Wolfe Creek, en las llanuras australianas, es uno de los mejor conservados pese a su antigüedad de milenios; parece que su origen se remonta a hace 300.000 años; su diámetro es ligeramente inferior al kilómetro.

terrestres y de otras muchas especies vivientes.

¿CÓMO RECONOCER LOS CRÁTERES DE IMPACTO?

En presencia de una estructura circular que haga pensar en un origen asteroidal, ¿cuáles son los indicios que permiten corroborar semejante hipótesis?

Además de la forma, que constituye ciertamente un buen indicio, hay que tener en cuenta que en el choque, sobre todo con objetos de grandes dimensiones, se libera una gran cantidad de energía, la cual genera ondas de choque; análogamente a lo que sucede cuando lanzamos una piedra a un estanque, se producen ondas que se propagan a través de la roca, un terremoto. Al propagarse, la onda de choque calienta el material que atraviesa, aumentando la presión a que está sometido. El aumento de la temperatura y la presión puede alterar la estructura de la roca, y éste es uno de los indicios que, una vez encontrados eventuales fragmentos del objeto que colisiona, permiten establecer si un cráter ha sido creado por el impacto con un objeto procedente del espacio. A partir del tamaño del cráter y de las alteraciones sufridas por las rocas circundantes, también es posible estimar la energía liberada en el choque y por tanto la masa del meteorito.

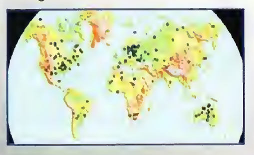
Hay otro problema importante: el de la datación del suceso que ha producido el cráter; este problema se resuelve midiendo el porcentaje de elementos radiactivos contenidos en las rocas que componen el cráter.

Precisamente así hemos obtenido información sobre los cráteres (relativamente pocos) producidos por impactos entre nuestro planeta y los objetos pequeños del sistema solar.

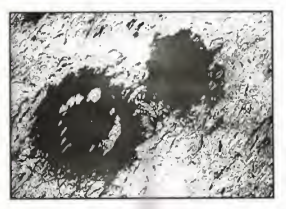
En el altiplano del Pamir es visible esta estructura (a la izquierda) que sólo en tiempos recientes se ha reconocido como cráter de impacto, de menos de 10 millones de años de antigüedad. Han permitido verificar esta hipótesis los estudios geológicos realizados sobre las rocas circundantes.

CRÁTERES DEL MUNDO

El mapa muestra la difusión de los cráteres de impacto sobre la Tierra. Comparado con un mapa lunar, el mapa terrestre aparece mucho más pobre en objetos, dado que la superficie terrestre es continuamente renovada por la acción de las fuerzas endógenas.



Los lagos gemelos Clearwater, que se encuentran en Canadá, fueron presumiblemente producidos por el choque simultáneo con dos objetos relacionados entre sí. Cabe pensar en un pequeño asteroide fragmentado en dos de menor tamaño, llegados posteriormente a la superficie terrestre. En la Luna son visibles cadenas de cráteres, debidos probablemente a choques con cuerpos muy fragmentados.



CATÁLOGOS ASTRONÓMICOS

Al método científico corresponde organizar de modo conveniente los descubrimientos, así como facilitar el acceso a ellos por parte de los estudiosos. De ahí nace la utilidad de los catálogos, que son enormes colecciones de datos e imágenes.

Con el progreso de los descubrimientos científicos se siente más que nunca la necesidad de organizar racionalmente los conocimientos acumulados. El resultado de años y años de investigación se reúne así en catálogos. La paciente compilación de los catálogos astronómicos no es para el astrónomo un simple trabajo de archivo. El progreso de la investigación científica se basa en los descubrimientos ya realizados y es importante, por tanto, que éstos sean fácilmente accesibles. Por banal que sea recordarlo, para descubrir lo que se ignora es necesario saber primero qué se conoce.

¿QUÉ CONTIENEN LOS CATÁLOGOS?

En los catálogos se registran las observaciones y los descubrimientos acumulados a lo largo de decenios por parte de los astrónomos de todo el mundo. Constituyen un registro, constantemente puesto al día, de los conocimientos astronómicos de toda la humanidad.

Existen cientos de catálogos astronómicos, compilados utilizando informaciones y datos diversos y persiguiendo distintas finalidades. Sustancialmente, se puede decir que se subdividen en dos categorías principales: los catálogos de objetos y los catálogos de observaciones.

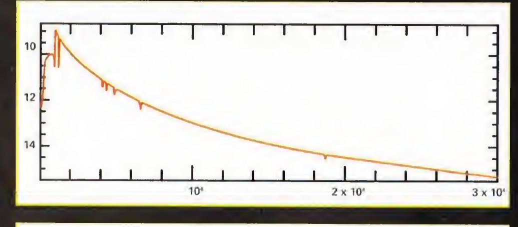
CATÁLOGOS DE OBJETOS

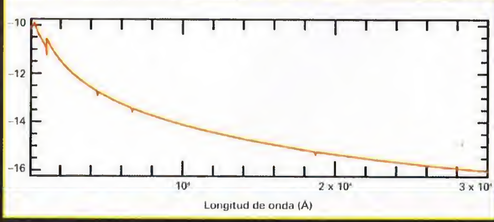
En estos catálogos figuran todos los datos relativos a clases particulares de objetos celestes seleccionados según distintos criterios. La compilación de alguno de estos catálogos, por ejemplo, se basa en el tipo de objetos considerados. Así, hay catálogos de estrellas, de galaxias, de nebulosas, de asteroides, de cometas y de otros. Algunos de estos catálogos se basan también en las características morfológicas de los objetos observados; por ejemplo, los hay que listan sólo galaxias pertenecientes a una determinada clase en la secuencia de Hubble (elípticas, espirales, irregulares, etc.). Como en el universo existen muchas clases de cuerpos celestes, es fácil imaginar lo numerosos que pueden ser los catálogos de este tipo.

En otros casos, en cambio, los catálogos reúnen cuerpos celestes de distinta naturaleza. Así sucede

Uno de los catálogos espectrofotométricos más utilizados para calibrar las observaciones espectroscópicas se basa en datos recogidos en 1969 por el astrónomo estadounidense Oke con el telescopio Hale de 5 m. Los gráficos de abajo muestran el espectro de la estrella «estándar» G191-B2B (a la derecha), extraído de este catálogo.









Uno de los archivos más completos existentes en el mundo está en el Goddard Space Flight Center de la NASA.

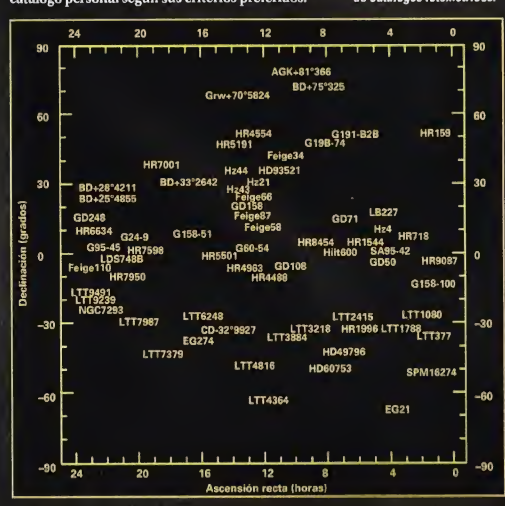
cuando el principio de compilación se basa en las coordenadas; tales catálogos, por tanto, listan todos los objetos observados en una determinada región del cielo, por ejemplo en la constelación de Orión. Otro criterio que puede seguirse es el de la distancia (por ejemplo, todos los cuerpos celestes conocidos situados a menos de 100 años luz de la Tierra). Además, no todos los cuerpos celestes emiten radiación en la misma región del espectro electromagnético (o al menos no con la misma intensidad). Se pueden elaborar, pues, catálogos de todas las fuentes que emitan rayos X, rayos gamma o radioondas.

Naturalmente, es posible atender a varios criterios a la vez. Por ejemplo, se puede crear un catálogo de fuentes de rayos X situadas a una distancia límite de 2 kpc cuya posición no se aparte más de 10 grados del plano galáctico. Los catálogos galácticos que se pueden generar, como se ve, son infinitos. Por otra parte, además de los criterios generales hay otros extremadamente subjetivos.

En teoría, con una base de datos adecuada, cualquier astrónomo puede decidir construir un catálogo personal según sus criterios preferidos.

ALGUNOS CATÁLOGOS DE OBJETOS ESPECÍFICOS

En estos catálogos los objetos celestes se agrupan rigurosamente a partir de su clase de pertenencia. Se obtienen catálogos de galaxias, de estrellas binarias, de enanas blancas, de supernovas, de nebulosas planetarias y así sucesivamente. Aunque es prácticamente imposible citarlos todos, algunos merecen una mención especial. Entre ellos figura el catálogo de cuásares y núcleos galácticos activos de Veron-Cetty y Veron (universalmente conocido como catálogo de Veron), continuamente puesto al día y que ya ha alcanzado su séptima edición. El catálogo de Veron lista 8.609 cuásares y 3.053 núcleos galácticos activos y constituye un punto de referencia fundamental para cualquiera que se ocupe del estudio de estas fuentes. Quien estudie los cúmulos globulares no puede dejar de consultar el catálogo específico publicado por Arp en 1965, que contiene precisas informaciones (coordenadas, diámetro aparente, distancia, magnitud relativa, velocidad radial, etc.) de 119 cúmulos globulares de nuestra Galaxia. Para el conocimiento de las supernovas galácticas es muy útil el catálogo de Green, que contiene los parámetros observados en 182 objetos. El catálogo de púlsares (760 objetos) publicado por la Universidad de Princeton reúne cuanto se ha descubierto en 30 años de observaciones. Por último, es necesario recordar el catálogo de galaxias de Zwicky, que ha suministrado la base de los estudios ulteriores.



El mapa celeste muestra la posición en ascención recta y declinación de algunas estrellas de calibración extraídas de catálogos fotométricos.

Todos los catálogos de este tipo se parecen en un aspecto importante, pues registran todas las informaciones esenciales relativas a los objetos en cuestión, como por ejemplo las coordenadas, la distancia, la luminosidad, el tipo espectral y así sucesivamente.

CATÁLOGOS DE OBSERVACIONES Y DATOS

Los catálogos de este tipo compilan registros de observaciones realizadas con un cierto instrumento, ya sea un telescopio terrestre o un observatorio orbital. En uno de estos catálogos es posible descubrir, por ejemplo, qué regiones del cielo se han observado, en qué año, durante cuánto tiempo, qué combinación de instrumentos se ha utilizado en determinados casos o el nombre del astrónomo que llevó a cabo la observación. La creación de catálogos de observaciones es una práctica relativamente reciente y coincide con el nacimiento de la astronomía espacial a comienzos de los años sesenta. Las observaciones desde satélites no son gestionadas directamente por el astrónomo que las ha propuesto, como sucede en el caso de los telescopios terrestres, sino por un equipo de técnicos que se encargan de las operaciones de control del propio satélite. Ello supone que los datos se acumulen durante un cierto tiempo en los bancos de datos de tales centros antes de enviarlos a los astrónomos. Naturalmente, para tener bajo continuo control el flujo de datos de partida y de llegada (así como para evitar todo posible error) es necesario catalogar meticulosamente las observaciones. Además, para evitar eventuales pérdidas en el viaje hacia el destinatario se hacen copias de todos los datos recogidos.

La acumulación de datos en el curso de una misión más o menos larga requiere, pues, la creación de un archivo. Naturalmente, la compilación de un catálogo de datos exige también

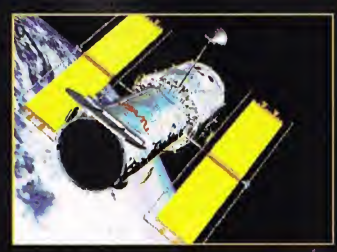
la de un catálogo de objetos. Por ejemplo, en el caso de observadores orbitales, es habitual crear, al término de la vida operativa de la misión, un catálogo que contenga todas las fuentes observadas en dicho período independientemente de su naturaleza. Como las distintas regiones del espectro electromagnético son observadas por distintos satélites, se compilan catálogos subdivididos atendiendo a la longitud de onda. Así ocurre, por ejemplo, con los catálogos de fuentes gamma compilados sobre la base de las observaciones de los satélites COS-B o GRO, con los catálogos infrarrojos (IRAS) o los ultravioletas (IUE).

EL GUIDE STAR CATALOGUE

El más famoso de los catálogos «omnicomprensivos» es seguramente el Guide Star Catalogue (GSC), creado sobre la base de observaciones paralelas realizadas durante una decena de años en ambos hemisferios. El GSC se llama así (Guide Star: guía de las estrellas) porque sirve de referencia para seleccionar las estrellas guía que permiten posicionar el telescopio espacial Hubble. Como el Hubble apunta a objetos de todo el cielo (salvo en algunas zonas «prohibidas»), las estrellas de referencia están distribuidas un poco por todas partes. El GSC contiene unos 18 millones de objetos celestes hasta una magnitud de 15, cuyas coordenadas se conocen con una precisión de un segundo de arco, precisión más que apreciable dado que no se trata de un catálogo astrométrico. Todo el catálogo está archivado en sólo dos CD-ROM y está disponible para cualquiera que lo solicite (versiones Macintosh, DOS y Windows).

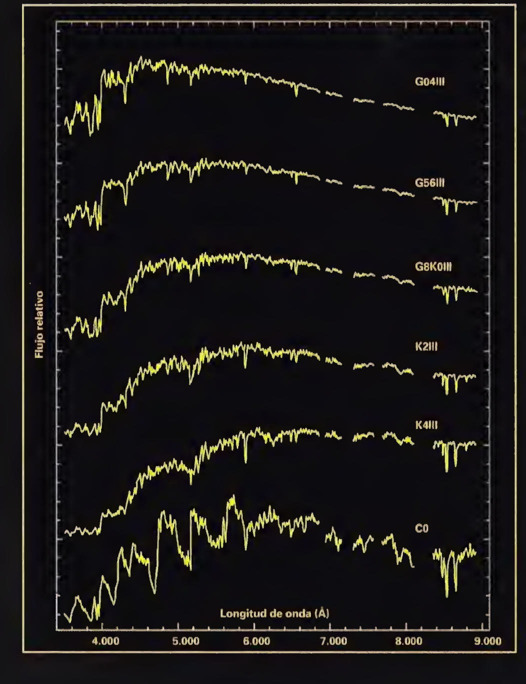
ARCHIVOS «ABIERTOS» Y «CERRADOS»

La necesidad de mantener los archivos lo más ordenados posible responde también a cuestiones que tienen que ver con la política de investigación científica a nivel internacional. A menudo, los satélites astronómicos son fruto de una cooperación científica y tecnológica entre varios países. Por ello, se decidió hace años conceder el acceso a los datos a toda la comunidad internacional al cabo de un período mínimo de tiempo. En la práctica, el científico que ha propuesto la observación sigue siendo «propietario» exclusivo de los datos recogidos una vez el derecho ha caducado y éstos se hacen públicos y son accesibles para cualquier astrónomo que los solicite al instituto que los gestiona. Hasta hace unos años, esta política sólo atañía a los datos recogidos por satélites y no a los datos tomados por los telescopios terrestres, que dependían de institutos nacionales o locales. Así, el astrónomo, después de una o varias noches de observación, registraba sus datos en un soporte magnético para llevárselos y en el telescopio no quedaba rastro de ellos. Años más tarde, las organizaciones que gestionaban los telescopios adquirieron la costumbre de conservar copia de todos los datos recogidos durante las noches de observación. Tales datos, sin embargo, eran inaccesibles para quien no fuera el «propietario». Recientemente algunos observatorios terrestres han adoptado la política de hacer públicos los datos recogidos por los telescopios transcurrido un año desde la fecha de observación. Hasta ahora, sin embargo, han adoptado esta política pocos observatorios, entre ellos el Observatorio Europeo Austral (ESO) que, no por casualidad, es una organización internacional. Casi todos los demás siguen manteniendo el «embargo» original.



El telescopio espacial Hubble (en la imagen de arriba) apunta al cielo guiándose por un catálogo de estrellas especialmente compilado.

Abajo, ejemplos de espectros de algunas estrellas gigantes rojas extraídos de un catálogo espectroscópico.







Arriba, el satélite GRO, y arriba a la derecha, el COS-B. La astronomía espacial ha permitido la creación de archivos electrónicos de datos.

CATÁLOGOS ASTROMÉTRICOS

Entre los catálogos más antiguos figuran los astrométricos. En ellos se registran minuciosamente las posiciones absolutas (ascensión recta y declinación) de algunas muestras de estrellas, seleccionadas entre las más brillantes. Los catálogos astrométricos son de importancia capital para la astronomía, pues a partir de ellos se construyen las primeras «muescas» de la escala de distancias cósmicas. Midiendo la posición absoluta de una estrella con un intervalo de seis meses se puede determinar el desplazamiento paraláctico y a partir de él la distancia. Por ejemplo, casi todas las distancias de las estrellas más próximas se han calculado así. Pero éste no es el único resultado astrofísico basado en los catálogos astrométricos. La medida precisa de las posiciones estelares ha permitido descubrir las estrellas dobles. Además, comparando las coordenadas de un cuerpo celeste en distintas épocas se puede deducir si éste se ha movido y, por tanto, si posee o no movimiento propio; en caso afirmativo, se puede calcular su valor. La búsqueda y la medida de los movimientos propios es fundamental en muchos campos de la astronomía. Uno de los principales es el estudio de los cometas. Al ser un cuerpo próximo, un cometa exhibe un rápido movimiento sobre la bóveda celeste y es más fácilmente distinguible de los demás cuerpos celestes. En particular, existen algunos catálogos astrométricos más específicos que listan, en un cierto intervalo de magnitud, las estrellas conocidas dotadas de movimiento propio.

Entre los catálogos astrométricos figuran el famoso SAO, compilado en 1966 por el Smithsonian Astronomical Observatory, y el más moderno Position & Proper Motion Catalogue (PPMC). Este último contiene la posición y el movimiento propio de varios miles de estrellas (378.910) de ambos hemisferios (magnitud inferior a 7,5) con una precisión media, respectivamente, de aproximadamente 300 y 4 milésimas de segundo de arco.

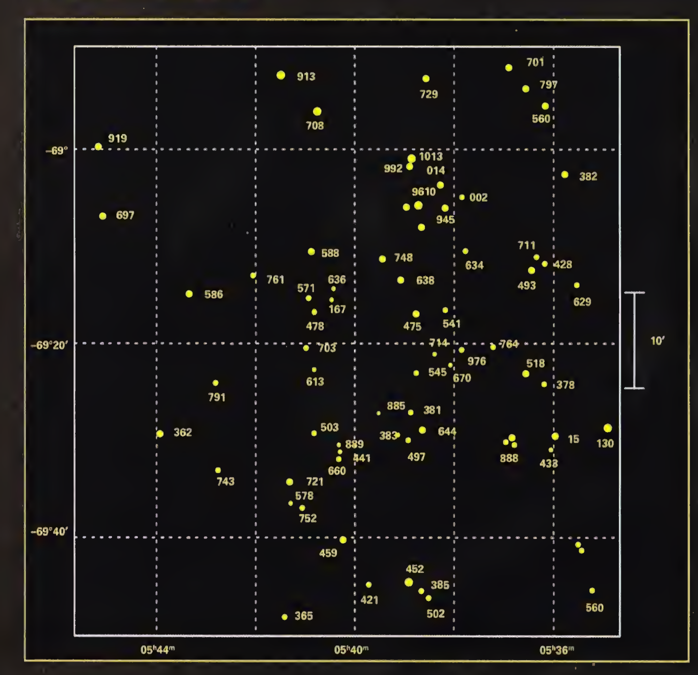
CATÁLOGOS FOTOMÉTRICOS

Los catálogos fotométricos, como su propio nombre indica, se compilan a partir de observaciones de tipo fotométrico de objetos de distintas clases; existen 158. En estos catálogos se indica la magnitud de algunas muestras de estrellas o galaxias medida con distintos filtros, generalmente los U, B, V, R e I de Johnson, con la máxima precisión posible. Dado que a menudo tales medidas se basan en observaciones repetidas a días o meses de distancia, es fácil deducir si los objetos son estables (esto es, si su magnitud permanece

LA CONSULTA DE LOS CATÁLOGOS

Un problema práctico del uso de catálogos es el de su consulta. Hasta hace unos pocos años, antes de que los ordenadores hicieran su aparición en la astronomía cotidiana, estos catálogos se imprimían y consultaban manualmente, con la pérdida de tiempo fácil de imaginar. Afortunadamente, estos catálogos se han convertido a formato electrónico y se pueden almacenar en la memoria de un ordenador, donde son fácilmente accesibles y consultables por medio de oportunos programas. En un determinado catálogo, por ejemplo, es posible buscar el objeto que interesa indicando simplemente el nombre y las coordenadas; también se pueden seleccionar varios objetos al mismo tiempo imponiendo una relación sobre varios parámetros del catálogo, como la luminosidad o la distancia. En los programas más recientes, todo ello se enriquece con una interface gráfica interactiva que conduce al usuario al resultado buscado sin necesidad de teclear instrucciones precisas.





Mapa de una región del cielo de un grado cuadrado de extensión situada en la Gran Nube de Magallanes. El mapa se ha construido utilizando los datos del catálogo compilado a través de las observacionas del satélite astrométrico Hipparcos. Los distintos tamaños de las estrellas corresponden a magnitudes diferentes.

constante con el tiempo) o variables. Muchas de las estrellas variables conocidas se descubrieron precisamente durante la compilación de tales catálogos. En el caso de objetos variables de período más largo, en cambio, la variabilidad se descubre comparando medidas tomadas en épocas distintas extraídas de catálogos diferentes.

En el caso de los objetos estables, las magnitudes que figuran en los catálogos fotométricos constituyen una referencia fundamental para las observaciones de todo el mundo porque sirven como patrones para medir el flujo de objetos observados por primera vez. Se trata de las llamadas estrellas estándar. El catálogo de estrellas estándar más utilizado en el mundo es el catálogo de Landolst, que nunca falta en la cúpula de un telescopio que se precie.

LA UTILIDAD DE LOS CATÁLOGOS FOTOMÉTRICOS PARA LAS OBSERVACIONES

La posibilidad de disponer de estrellas estándar es importante en las observaciones astronómicas y permite calibrar la magnitud de cualquier estrella no estándar.

Al observar con el telescopio una estrella cualquiera, el detector CCD nos suministra una imagen a partir de la cual se calcula directamente el número de impactos registrados en el tiempo de exposición.

Evidentemente, dicho número es proporcional al flujo de la estrella y por ello a su magnitud relativa. En este punto, el problema consiste precisamente en

EL CATÁLOGO HIPPARCOS

Hay más de 170 catálogos astrométricos en todo el mundo. El más reciente, y también el más importante, es el catálogo Hipparcos, compilado a partir de las observaciones realizadas por el satélite del mismo nombre de la Agencia Espacial Europea. El catálogo comprende las coordenadas de 118.000 objetos distribuidos por todo el cielo (una media de tres por grado cuadrado) hasta un límite de 12,4 magnitudes; estas coordenadas están calculadas con una precisión de cerca de una milésima de segundo de arco. También se ha elaborado el catálogo Tycho, ligeramente más impreciso (precisión astrométrica de 25 milisegundos de arco) pero que contiene una muestra de estrellas más elevada (poco más de un millón) hasta una magnitud de 14.



La compilación de catálogos morfológicos es una operación fundamental que permite a los astrónomos disponer de un preciso instrumanto para estudiar la evolución de las galaxias. Las imágenes muestran:
1) M81, galaxia aspiral;
2) M105, galaxia elíptica;
3) M84, galaxia elíptica;
4) M82, galaxia irregular.

determinar la magnitud de una estrella a partir del número de impactos registrados por el detector. Para que la medida del flujo de una estrella tenga utilidad científica, no puede darse en unidades arbitrarias que dependan del telescopio o del detector.

El problema se resuelve tomando al mismo tiempo exposiciones de una estrella estándar. Los catálogos fotométricos, en tales casos, son especialmente providenciales, pues dicen al astrónomo cuáles son las estrellas estándar presentes en una determinada región del cielo y, sobre la base de sus coordenadas, en qué momento de la noche son observables.

Conociendo la magnitud m_o de la estrella estándar y el flujo que de ella llega al telescopio F_o, se puede calcular la magnitud de la estrella observada (m) a partir del flujo F por medio de la ley de Pogson: $m - m_o = -2{,}5 \cdot \log(F/F_o)$. Mediante unos simples cálculos algebraicos, esta fórmula se puede reescribir así: $m = -2{,}5 \cdot \log F + m_o + 2{,}5 \cdot \log F_o$.

El término $m_o + 2{,}5 \log F_o$ se llama magnitud del punto cero y es el que determina la calibración fotométrica del flujo de la estrella.

CATÁLOGOS ESPECTROSCÓPICOS

Los catálogos espectroscópicos contienen los espectros de los objetos observados, así como su magnitud. Existen 130. De ellos, uno de los primeros fue el que compiló Henry Draper entre 1918 y 1924 y que todavía es objeto de frecuente consulta. Hay pocas dudas sobre la importancia que han tenido los catálogos espectroscópicos en la física estelar. Precisamente a partir de las características deducidas de los espectros estelares (rayas de emisión y absorción, temperatura, etc.) de una amplia muestra de objetos se pudieron sentar las bases de la clasificación espectral de las estrellas.

Gracias a los catálogos espectrales de galaxias, en cambio, se puede deducir su composición química y determinar las características de las diversas poblaciones estelares que forman parte de ellas. En particular, dado que los espectros permiten medir el eventual desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales, de estos catálogos se pueden extraer también catálogos de desplazamiento hacia el rojo, fundamentales en cosmología porque permiten establecer la distribución de velocidades de las galaxias en una cierta dirección. Uno de los catálogos de desplazamiento hacia el rojo más importantes es el que ha compilado el Center for Astrophysics (CfA) de Boston, que también contiene valores reseñados en catálogos anteriores, como el «histórico» de Corwin y De Vaucouleurs.

EL DELFÍN

El Delfín es una pequeña constelación formada por un grupito de estrellas poco luminosas pero fáciles de reconocer.



La constelación del Delfín, visible en las noches estivales, está formada por un rombo de pequeñas estrellas de cuarta o quinta magnitud.

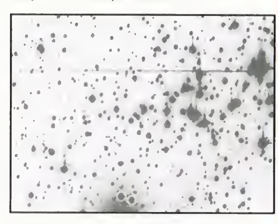
CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

A occidente de la constelación de Pegaso, prolongando unos treinta grados el lado meridional del característico cuadrado, encontraremos el grupo de estrellas que constituye el Delfín.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Las dos estrellas más luminosas del Delfín son, por orden, Beta (magnitud 3,6) y Alfa (magnitud 3,8). Alfa recibe también el nombre de Sualocin, mientras que Beta se conoce como Rotanev; estos nombres tienen una etimología curiosa. Los creó el padre Giuseppe Piazzi, el astrónomo que dirigió el observatorio de Palermo y al que se debe el descubrimiento del primer asteroide, Ceres. Con estos nombres, Piazzi quiso recordar a su colaborador Niccolò Cacciatore, cuyo nombre, traducido al latín, Nicolaus Venator, se convirtió, leído al revés, en el nombre de los dos astros.

Beta es una estrella doble dificilísima de separar en sus dos componentes, pues el ángulo entre ambas (magnitudes 4,8 y 4,9) es siempre inferior a 1", variando entre 0,2 y 0,7"; el período orbital es de unos veintiséis años y medio.



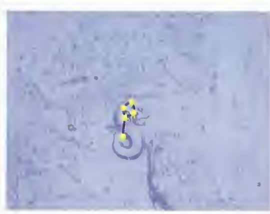
El cúmulo globular NGC 7006 es un objeto elusivo, de duodécima magnitud y de pequeño diámetro aparente debido a su gran distancia de nosotros.

También Gamma es una estrella doble, cuyas componentes tienen magnitudes respectivamente iguales a 4,5 y 5,5 y están separadas casi 10", por lo que se encuentran al alcance de pequeños telescopios.

Una estrella variable es R, que pertenece a la misma clase de objetos que Mira. Su magnitud varía entre 7,6 y 13,8 en 285 días. En el máximo de su luminosidad se puede observar con unos simples prismáticos, mientras que en el mínimo requiere instrumentos más potentes, de abertura superior a 15 cm.

OBJETOS DEL DELFÍN

La constelación del Delfín no contiene objetos muy llamativos. Recordemos, entre ellos, el cúmulo globular NGC 7006, una débil bola luminosa de duodécima magnitud. Para observar este objeto deberemos utilizar un telescopio de abertura igual o superior a 15 cm. Su luz nos llega después de un viaje de más de 180.000 años; es uno de los cúmulos globulares más distantes de nosotros.



El Delfín representa al mamífero acuático que flanquea las naves durante las travesías por mar. Desde tiempos antiguos, su presencia es considerada un buen augurio por los marineros.

DÓNDE BUSCARLA

EL DELFÍN

El Delfín está en oposición al Sol a fines de julio; en este período, por tanto, podremos buscarlo en dirección sur a medianoche. Abarca una región del cielo comprendida entre las 20 horas 10 minutos y las 21 horas 10 minutos de ascensión recta, y entre 2 y 21° de declinación.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL DELFÍN

La benevolencia del hombre para con los delfines queda plasmada en las dos leyendas asociadas a esta constelación. La primera de ellas narra que Poseidón, el dios del mar, sufría por el sentimiento de soledad que le inspiraba su palacio vacío. Decidió entonces buscar esposa y eligió para tal fin a una de las nereidas, las ninfas del mar, llamada Anfitrite. Pero ésta no apreció el cortejo del dios. Poseidón recurrió entonces a un delfín, que le hizo de mensajero y logró convencer a la elegida. Como premio por el éxito de la misión, que acabó en boda, el dios puso al delfín en el cielo en forma de constelación. Recientemente, también Anfitrite ha terminado en el cielo; su nombre ha sido asignado a un asteroide.

El segundo mito ligado al Delfín cuenta una historia más oscura. Se dice que el poeta Arión, de regreso de un viaje a Sicilia, fue amenazado de muerte por los marineros de la nave que lo llevaba a la patria; no obstante, logró convencerlos de que le dejaran cantar una última canción antes de matarlo. Con su canto melodioso, Arión llamó a un banco de delfines y saltó a lomos de uno de ellos, con lo que consiguió salvarse. Apolo, que era un poeta hábil y músico, puso en el cielo al delfín y a la lira transformándolos en las respectivas constelaciones.



20°
10°
NGC 7006
Gamma
Delta
Alfa
Beta
Épsilon
DELPHINUS
SAGITTA
R
AQUILA
20h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

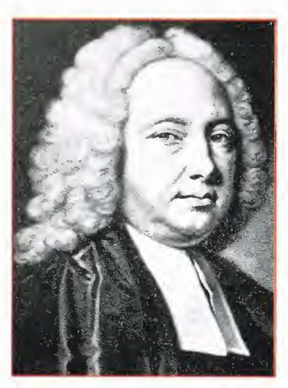
LA ABERRACIÓN ASTRONÓMICA

Las estrellas y los demás objetos celestes no se encuentran exactamente en la posición en la que los ve un observador que mira con un telescopio. Su pequeño movimiento aparente, debido al movimiento que la Tierra realiza alrededor del Sol, fue descubierto casualmente hace casi tres siglos.

A causa de la aberración, las estrellas no aparecen exactamente donde se encuentran en realidad sino ligeramente desplazadas (arriba).

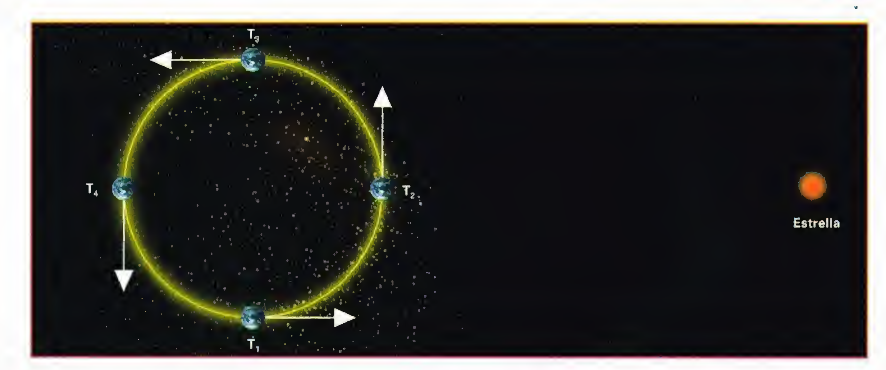


En la primera mitad del siglo XVIII, el astrónomo inglés James Bradley (Sherborne, 1692-1762), que trabajaba en el histórico observatorio astronómico de Greenwich, cerca de Londres, también conocido por el descubrimiento de la nutación del eje terrestre, emprendió un vasto programa de medida de las posiciones de las estrellas en la bóveda celeste. Merece la pena recordar que hasta mediados del siglo XIX la astronomía se ocupó esencialmente de problemas de posición y de la determinación cada vez más precisa de las órbitas de los planetas. Sólo después, con el desarrollo gradual de la espectroscopia, se empezó a hablar de astrofísica y comenzaron a tomar cuerpo teorías sobre la composición química de los cuerpos celestes y su evolución.



A la derecha, James Bradley, el astrónomo inglés que descubrió, de un modo casual, el fenómeno de la aberración astronómica.

Bradley, con sus propias observaciones, trataba de determinar la paralaje de las estrellas vecinas con objeto de medir su distancia, aunque sólo fuera de modo aproximado. Como es sabido, el principio en que se basa el método de la paralaje dice que una estrella relativamente vecina se mueve aparentemente sobre el fondo de las más lejanas a causa del movimiento de revolución de la Tierra alrededor del Sol en el curso del año. Bradley no tuvo éxito en el intento porque los instrumentos de que disponía no permitían todavía alcanzar la



Al observar una estrella situada donde indica el esquema, cuando la Tierra se encuentra en las posiciones T_1 y T_3 se tiene el desplazamiento máximo debido a la paralaje y el desplazamiento mínimo (cero) debido a la aberración. Esto es así porque en aquellas dos posiciones la dirección de la velocidad de la luz procedente de la estrella y la velocidad de la Tierra en su movimiento en torno al Sol son paralelas. En cambio, cuando la Tierra se encuentra en T_2 o T_4 es máxima la aberración y mínima (cero) la paralaje.

precisión requerida para aquel tipo de medidas. El problema no fue resuelto hasta 1838, cuando Friedrich Bessel y Wilhelm Struve determinaron, respectivamente, las paralajes de las estrellas 61 Cygni y Vega, extendiendo finalmente en la tercera dimensión un universo que hasta entonces, más allá del sistema solar, se consideraba esencialmente plano.

UN DESCUBRIMIENTO CASUAL

Como resultado de su trabajo, Bradley descubrió en 1727 un fenómeno hasta entonces desconocido. El astrónomo inglés se dio cuenta de que las estrellas parecían moverse ligeramente respecto a sus posiciones verdaderas al transcurrir los meses, con una periodicidad exactamente igual a un año. El fenómeno podía confundirse fácilmente con el de la paralaje, pero había una diferencia fundamental: mientras que en el caso de la paralaje el movimiento de la estrella debía depender, obviamente, de la distancia de esta última a la Tierra (cuanto mayor es la distancia, menor es la paralaje), en las medidas de Bradley el desplazamiento era independiente de la estrella considerada. De un modo totalmente casual se había descubierto la aberración estelar anual.

Los anglosajones han acuñado un término que indica los descubrimientos efectuados de un modo totalmente imprevisible en el mundo de la ciencia,

Al correr bajo la lluvia para resguardarnos deberemos inclinar el paraguas en la dirección del movimiento. Lo mismo le sucede a un telescopio, el cual, a causa de la aberración, debe inclinarse en la dirección del movimiento de la Tierra.



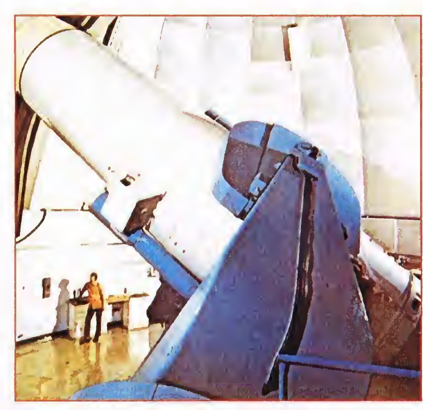
cuando en realidad se está buscando otra cosa. El término es *serendipity* (serendipidad). El descubrimiento de la aberración es un caso clásico de serendipidad.

UNA COMBINACIÓN DE VELOCIDADES

Como la paralaje, la aberración es debida al movimiento de revolución de la Tierra alrededor del Sol, que se produce a una velocidad media de unos 29,8 km/s.

Supongamos que un astrónomo está observando una estrella con un telescopio. La luz de la estrella atraviesa enormes espacios a la velocidad de 300.000 km/s y llega por fin a la Tierra, donde entra en el tubo del instrumento. Como la luz viaja a una velocidad finita, emplea un cierto tiempo en recorrer la distancia entre el foco del telescopio y el ojo del observador. En este breve intervalo de tiempo, sin embargo, la Tierra se mueve, y su velocidad se suma vectorialmente a la de la luz procedente de la estrella. El resultado neto es un desplazamiento aparente de la posición de la estrella respecto a su posición real.

En el caso de estrellas que se encuentren exactamente en los polos eclípticos, esto es, en posición perpendicular al plano de la órbita terrestre, el movimiento es circular; para estrellas en dirección paralela al plano de la eclíptica, el movimiento es rectilíneo; en todos los demás casos, las estrellas dibujan en el cielo pequeñas elipses. El desplazamiento máximo de la verdadera posición de la estrella para un astro que se encuentre en dirección perpendicular a la del movimiento terrestre es de 20' 49'' de arco y se llama constante de aberración anual; el valor de dicha constante depende de la distinta velocidad con que la Tierra recorre su propia órbita elíptica (mayor en el perihelio y menor en el afelio); por



Mientras la luz procedente de una estrella lejana recorre la distancia focal de un gran telescopio, la Tierra se mueve. Ésta es la razón por la que se produce el fenómeno de la aberración astronómica.

En el diagrama de abajo se ilustra la inclinación en la dirección del movimiento de la Tierra que un telescopio, a causa de la aberración, debe sufrir para apuntar a una estrella.

CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ABERRACIÓN

El ángulo de aberración es fácilmente calculable. Llamándolo α, vale la siguiente relación:

$\text{tg}\ \alpha = v/c$,

donde v es la componente de la velocidad de la Tierra perpendicular a la dirección de la luz incidente y c la velocidad de la luz (tg α es la tangente trigonométrica del ángulo α). Naturalmente, esta relación permite también calcular c suponiendo conocidos α y v y calcular v suponiendo conocidos α y c.

consiguiente, varía de un modo, digamos, estacional. Sin embargo, la órbita terrestre es poco excéntrica, por lo que tal variación es mínima.

COMO LA LLUVIA QUE CAE...

Para comprender mejor por qué la luz estelar presenta el fenómeno de la aberración, se puede considerar el ejemplo de una persona que camina bajo la lluvia resguardándose con un paraguas. Si la lluvia cae verticalmente y la persona está inmóvil, para resguardarse bastará sostener el paraguas encima de la cabeza perpendicularmente. Pero si la persona echa a correr, para no mojarse tendrá que inclinar el paraguas hacia delante (esto es, en la dirección del movimiento) tanto más cuanto más rápidamente se mueva porque su velocidad se combina con la de la lluvia. De la misma manera, hay que inclinar ligeramente hacia delante un telescopio para observar las estrellas.

CONSECUENCIAS IMPORTANTES

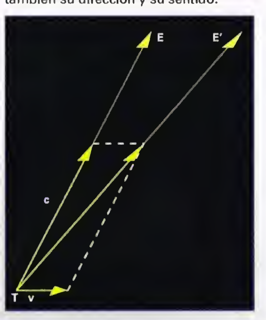
La existencia de la aberración ha tenido importantes consecuencias en campos más vastos aún que la astronomía. Un siglo después de la condena de Galileo por herejía, permitió obtener las primeras pruebas experimentales de que la Tierra gira en torno al Sol y no a la inversa. Si la Tierra estuviera inmóvil, la aberración no existiría.

Además, la aberración demostró una vez más que la velocidad de la luz era finita y permitió medirla de un modo simple. El semieje mayor de la elipse trazada por las estrellas expresa el cociente entre la velocidad de la Tierra y la de la luz. El resultado obtenido estaba en excelente acuerdo con el que logró Römer con el método de los eclipses de los satélites de Júpiter.

Por último, a través de la constante de aberración se puede calcular la distancia media Tierra-Sol. Suponiendo constante la velocidad de la luz, de la constante de aberración se puede deducir la velocidad media orbital de la Tierra expresada en kilómetros por segundo. Multiplicando esta última por el número de segundos de un año sideral, se obtiene la longitud de la órbita terrestre, y por tanto su radio.

SUMA DE VECTORES

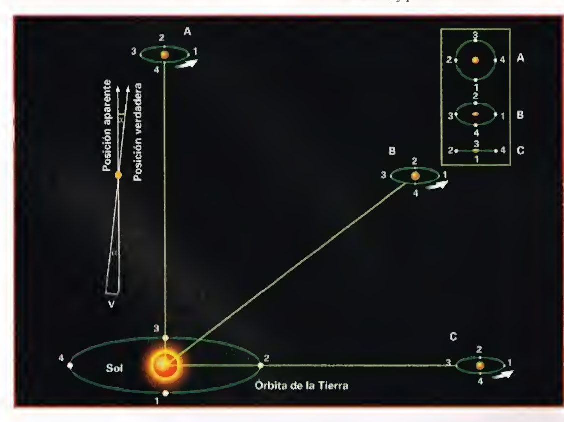
El ángulo de aberración, o ángulo formado por la verdadera dirección en que se encuentra una estrella y aquella otra en la que se aparece a un observador de un telescopio, es el ángulo de la resultante entre la dirección de la velocidad de propagación de la luz de la estrella observada y la de la velocidad de revolución de la Tierra.
Algunas magnitudes físicas, como la velocidad, no son representables mediante un simple número, como la masa o la temperatura. Para definirlas de manera precisa, es necesario dar además una dirección y un sentido. Las magnitudes físicas con tales características se llaman vectoriales y se representan por flechas. Pensemos, por ejemplo, en el desplazamiento, que es precisamente una magnitud vectorial: decir que una persona se ha movido cien metros desde el punto de partida no basta para saber dónde se encuentra al término de su movimiento, a menos que se conozca la dirección del movimiento. Por tanto, para sumar dos vectores y obtener la llamada resultante, hay que tener en cuenta también su dirección y su sentido.



LA ABERRACIÓN DIURNA

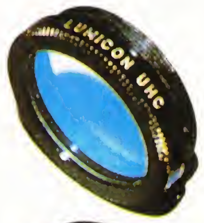
Además de la aberración estelar anual, existe una aberración diurna debida a la rotación de la Tierra en torno a su propio eje en 24 horas; este fenómeno, por tanto, se puede considerar como una prueba experimental de la rotación terrestre.

El principio es el mismo que el de la aberración anual, pero la causa es el movimiento de rotación. Pero, como este último es mucho más lento que el de revolución, el ángulo de aberración resultante es mucho más pequeño. Se puede calcular sabiendo que la longitud del perímetro ecuatorial terrestre es de 40.075 km y que la Tierra emplea 86.164 segundos en dar una vuelta sobre sí misma; el cociente entre estos dos valores da la velocidad de rotación en el ecuador, que es de 0,465 km/s, 1/64 de la velocidad orbital. La aberración diurna, por consiguiente, debe ser igual a 1/64 de la aberración anual, por lo que vale como máximo 0,32 segundos de arco. Este ángulo varía con la latitud, disminuyendo del ecuador a los polos, donde se hace nulo, al anularse también la propia velocidad de rotación que lo causa.



A causa de la aberración, una estrella A situada en dirección del polo eclíptico parece recorrer un pequeño círculo en el cielo durante un año. Una estrella B situada a una declinación media parece recorrer una elipse. Una estrella C situada exactamente en el plano de la órbita terrestre parece moverse sobre un segmento en el curso de un año.

ACCESORIOS PARA TELESCOPIOS





La calidad de la óptica y la mecánica de un telescopio permite obtener unos resultados científicos cada vez más detallados y más al día: cámaras para imágenes, fotómetros y espectroscopios constituyen la instrumentación necesaria.



Los telescopios son los instrumentos fundamentales de la astronomía óptica. No obstante, incluso los telescopios más grandes y modernos del mundo serían absolutamente inútiles de no llevar los instrumentos oportunos para registrar, leer y analizar la luz recogida por el espejo principal. Mientras que el telescopio representa el elemento fundamental del proceso de adquisición de datos, los instrumentos de que va equipado permiten al astrónomo obtener informaciones científicas a partir de los propios datos; en suma, le permiten hacer ciencia.

CALIDAD E INVESTIGACIÓN

Muchos factores concurren para establecer la buena calidad de un telescopio: el tamaño del espejo principal y la calidad de la óptica, que determinan el flujo luminoso recogido por el telescopio; las estructuras mecánicas, de las que dependen la estabilidad y la precisión de enfoque, así como la dotación de instrumentos científicos. Son precisamente estos últimos los que más influyen en la calidad de los resultados científicos obtenidos. Si no fuera provisto de la instrumentación científica adecuada, incluso un telescopio de 10 m de diámetro, como el Keck de Hawai, vería reducida en gran medida su potencia. Además, cada uno de estos instrumentos tiene características distintas adaptadas a cometidos científicos específicos. Éstos determinan el tipo de investigación científica que es posible llevar a cabo con un determinado telescopio.

Una vez recogida por el espejo principal, la luz de una estrella o una galaxia se concentra en el plano focal, desde donde se encamina, a través de sistemas de espejos más pequeños, hacia uno o varios instrumentos científicos. Los tipos de instrumentos más utilizados en un



A un telescopio se le puede adjuntar una cierta cantidad de instrumentos accesorios según lo que se pretenda observar. En general, tales instrumentos se colocan en el plano focal del telescopio.

Arriba, dos filtros para la observación de las nebulosas. Estos filtros permiten seleccionar la longitud de onda de la luz que llega al instrumento, eliminando las luces parásitas. En este caso son interesantes las longitudes de onda de las rayas del hidrógeno y del oxígeno ionizado.

CARACTERÍSTICAS FOTOMÉTRICAS

Un fotómetro está caracterizado por su resolución temporal, el mínimo intervalo de tiempo entre dos conteos sucesivos para que sean percibidos como distintos. En los fotómetros más precisos, la resolución temporal puede llegar a la millonésima de segundo. Se utilizan fotómetros tan precisos, por ejemplo, para estudiar las curvas de luz de los púlsares, cuya luminosidad puede variar, como en el caso del púlsar del Cangrejo, con períodos de decenas de milisegundos.

telescopio científico son las cámaras de imágenes, los fotómetros y los espectroscopios.

CÁMARAS DE IMÁGENES

No hay duda de que el cometido principal de cualquier telescopio, desde el de aficionado hasta el profesional, consiste en registrar las imágenes de la región del cielo observada. Esto se consigue mediante unos dispositivos, llamados cámaras de imágenes, cuyo principio de funcionamiento es similar al de una cámara fotográfica normal. Mientras que la magnitud límite de la imagen depende del tamaño del espejo principal, su calidad, en cambio, depende del tipo de detector utilizado en la cámara. Hasta comienzos de los años ochenta, los detectores empleados eran las clásicas placas fotográficas, casi totalmente sustituidas hoy por los modernos y mucho más dúctiles detectores CCD.

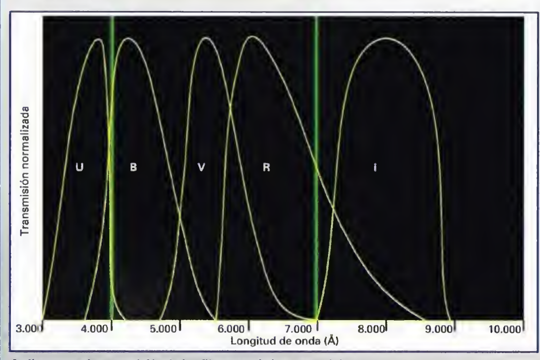
En muchos casos, sin embargo, las placas fotográficas se utilizan todavía para obtener imágenes de regiones del cielo muy amplias, del orden de 1 × 1 grado, y por tanto son muy útiles para observaciones de fuentes extensas como nebulosas o remanentes de supernovas. Esto no es posible con los detectores CCD, cuyo campo de visibilidad es mucho más limitado, raramente superior a 10 × 10 minutos de arco.

Muchos telescopios van provistos de distintos tipos de cámaras de imágenes de campo más o menos grande, con una resolución angular mayor o menor o con una sensibilidad (eficiencia cuántica) más acentuada para luces de distinta longitud de onda. El telescopio Hubble, por ejemplo, lleva tres cámaras: una Wide Field Camera (2,6 × 2,6 minutos de arco y una resolución angular de 0,1 segundo de arco), una Planetary Camera (35 × 35 segundos de arco para una resolución de 0,045") y la Faint Object Camera (7 × 7 segundos de arco para una resolución de 14 milisegundos de arco), ésta con una sensibilidad máxima en el ultravioleta próximo.

Toda cámara va provista de un sistema de filtros, unos diafragmas semitransparentes de forma circular que, colocados en la pupila de entrada de la propia cámara, sólo dejan filtrar luz de una longitud de onda específica. Habitualmente, estos filtros se montan circularmente sobre ruedas, de modo que sean fácilmente alternables mediante una simple rotación del soporte.

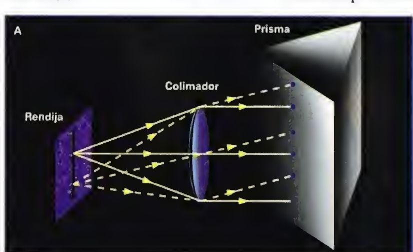
LOS SISTEMAS FOTOMÉTRICOS

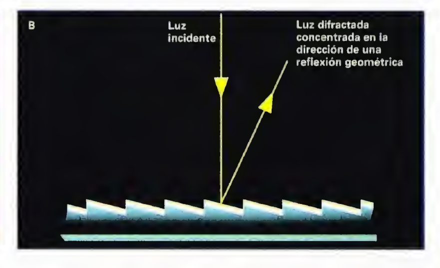
El uso de filtros es fundamental para el análisis científico de las imágenes astronómicas. Utilizando un filtro más sensible a la luz azul, por ejemplo, es posible identificar en una imagen las estrellas más calientes y jóvenes que emiten más intensamente a dicha longitud de onda. En cambio, con un filtro sensible a la luz roja se pueden reconocer estrellas más frías y viejas. Las magnitudes medidas a partir de las imágenes obtenidas en distintos filtros permiten realizar los diagramas color-color utilizados para describir las propiedades fotométricas de las diferentes poblaciones estelares. Las características espectrales de los filtros están determinadas por una función matemática, llamada función (o curva) de transmisión, que indica el porcentaje de luz transmitida por el filtro a una determinada longitud de onda. La función de transmisión está caracterizada por el intervalo de longitud de onda dentro del cual se transmite la luz y por el valor de la longitud de onda para el cual su valor es máximo.
El conjunto de los diferentes filtros, cada uno caracterizado por su propia función de transmisión, define un sistema fotométrico. Actualmente, el sistema fotométrico más usado es el de Johnson, basado esencialmente en 5 tipos de filtros: U, B, V, R e I, que corresponden, respectivamente, a la luz en los límites del ultravioleta próximo, el azul, la luz visible, el rojo y el infrarrojo.

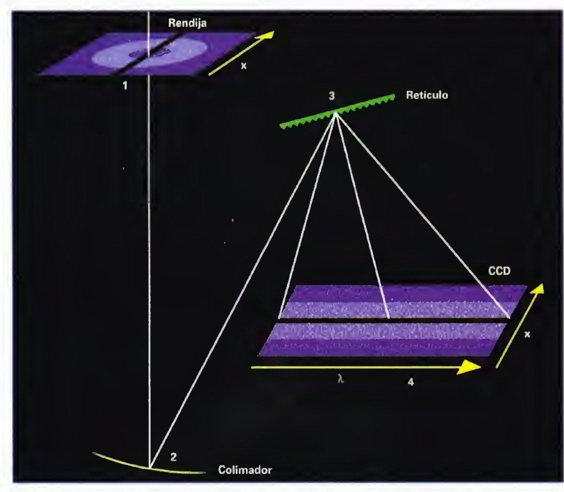


Arriba, curva de transmisión de los filtros en el sistema de Johnson.

Abajo, esquema de funcionamiento de un dispersor de prisma (A) y de un retículo de reflexión (B).







Esquema de un espectrógrafo. Se hace pasar la luz de una estrella a través de una rendija (1), después de lo cual un colimador (2) la focaliza hacia el elemento dispersor (3), el cual proyecta la luz de la estrella, descompuesta en longitudes de onda, sobre un detector CCD (4). A cada pixel del CCD le corresponde una longitud de onda precisa y la diferencia entre los valores de dos pixels contiguos define la resolución espectral del detector. En una imagen normal, la luz de una estrella aparece como superposición de distintas longitudes de onda. En la práctica, la imagen, a través de un espectroscopio, queda como «estirada», permitiendo distinguir sus componentes.

FOTÓMETROS

Las cámaras de imágenes registran el flujo luminoso procedente de una fuente celeste medido en un cierto intervalo de tiempo. No obstante, no informan sobre cuándo han sido detectados los fotones individuales; sólo permiten obtener un conteo (número de fotones por segundo) promediado sobre el tiempo de exposición. En el caso de fuentes variables a escala de unos días o de unas semanas, se puede reconstruir la evolución de la luminosidad a partir de los flujos medidos en períodos sucesivos, construyendo la curva de luz. De esta manera, sin embargo, es difícil medir variaciones de luminosidad en breves intervalos de tiempo, del orden, por ejemplo, de minutos o segundos. Para ello se usan fotómetros.

El principio de funcionamiento de un fotómetro típico puede esquematizarse del modo siguiente. La luz procedente de la estrella observada es dirigida hacia un detector a través de una pequeña rendija. En algunos casos se interpone un filtro entre la rendija y el detector. Habitualmente, el diámetro de la rendija se elige ligeramente más ancho que el diámetro aparente de la estrella (cerca del doble) para tener en cuenta el centelleo debido a la atmósfera. Se utilizan, pues, rendijas de distintos tamaños para estrellas de distinta luminosidad, cuya imagen resulta más o menos ancha, o cuando varían las condiciones atmosféricas que tienden a ensanchar el perfil de la estrella. En la mayor parte de los casos, se utiliza un detector fotoeléctrico para convertir los fotones contabilizados en un determinado tiempo en una señal eléctrica fácilmente codificable y medible por la electrónica de lectura.

ESPECTROSCOPIOS

Los espectroscopios figuran entre los instrumentos básicos de los astrónomos porque permiten dividir la luz de una estrella en sus componentes fundamentales y deducir la composición química del astro. En muchos aspectos, la estructura de un espectroscopio es similar a la de un fotómetro. Como en éste, la luz procedente del objeto observado se hace pasar por una rendija, desde donde se encamina a un detector, en este caso un CCD, donde cada pixel reconoce luz de longitud de onda distinta. En el camino óptico de la luz, sin embargo, se interpone un elemento dispersor que la divide en sus componentes fundamentales. Se utilizan varios tipos de dispersores, que se dividen en tres grupos distintos según que su funcionamiento se base en el principio de la refracción, de la difracción o de la reflexión. Un clásico dispersor de refracción es el prisma. Como se sabe, el ángulo de desviación de la luz por el prisma depende de la longitud de onda de aquélla; la luz, por tanto, se proyecta en distintas zonas del detector. En los dispersores de difracción, en cambio, se hace pasar la luz por un elemento dotado de numerosas rendijas paralelas (de 100 a 1.000 por milímetro), llamado red de difracción, que la dispersa de modo distinto según la longitud de onda.

CARACTERÍSTICAS ESPECTROSCÓPICAS

Una de las características fundamentales de un espectroscopio es su dispersión espectral, la precisión con que el elemento dispersor separa luz de distintas longitudes de onda. En los mejores espectroscopios, la dispersión es del orden de unos angströms. De este parámetro depende también la resolución espectral de los espectros medidos, es decir, la mínima diferencia de longitud de onda que tiene que haber entre dos rayas contiguas de emisión (o de absorción) para que aparezcan distintas.



El CCD (Charged Couple Device) es seguramente uno de los accesorios para telescopios que más han revolucionado el pasado reciente. Permite recoger la luz de los astros con mucha mayor eficacia que una placa fotográfica; en sus versiones más simples, está a disposición de los instrumentos para aficionados.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

DOS COMETAS EXCEPCIONALES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LA MATERIA OSCURA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

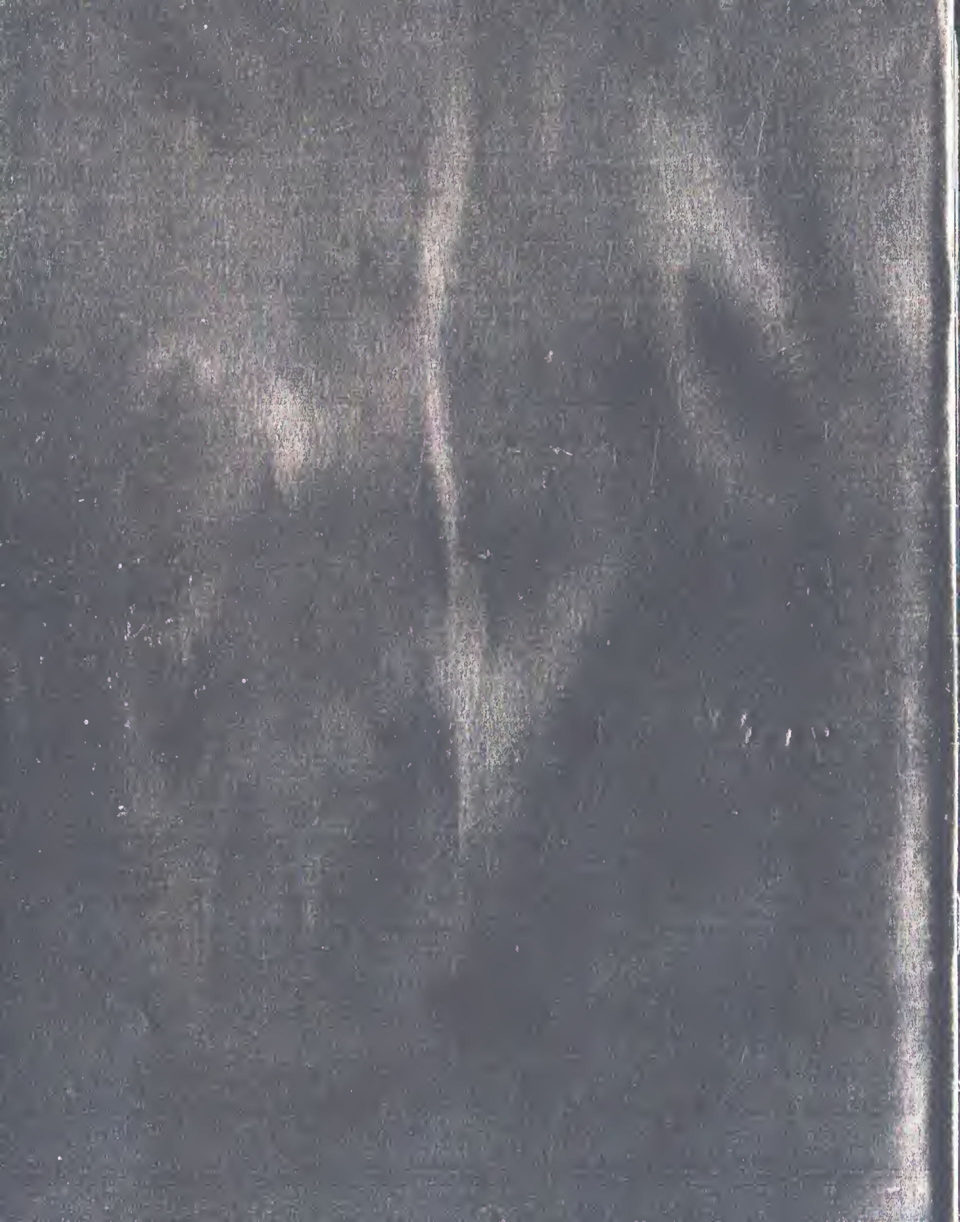
RELOJ-RETÍCULO

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LAS HORAS MÁS NEGRAS DE LA ASTRONÁUTICA

EL USO DEL ESPACIO

CONOCER EL TIEMPO CON LOS SATÉLITES METEOSAT



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

53



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinstock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

DOS COMETAS EXCEPCIONALES

En 1996 y 1997 pudieron verse dos cometas que permanecerán para siempre en la memoria de aficionados y astrónomos: el Hyakutake y el Hale-Bopp. Este último ha sido calificado por muchos como «el cometa del siglo».

Estos últimos años han sido excepcionalmente «calientes» para los estudiosos de los cometas. Al comienzo de la primavera de 1996, y exactamente un año después, pasaron por las regiones internas del sistema solar dos cometas de una luminosidad extraordinaria –aunque por motivos diferentes– y, por tanto, observables a simple vista. Acontecimientos de este tipo no se dan con frecuencia y, probablemente, el último cometa de una espectacularidad similar fue el West, que apareció en 1976.

Según su situación, los cometas se dividen en dos grandes familias: los de período breve se encuentran en regiones relativamente internas del sistema solar, a la distancia de los planetas gigantes; los otros, los de largo período, ocupan una zona en los límites externos del sistema solar, mucho más allá de la órbita de Plutón, el planeta más alejado del Sol. Esta zona, llamada Nube de Oort, tiene un radio estimado entre las 30.000 y las 100.000 unidades astronómicas (una unidad astronómica corresponde a la distancia que hay entre la Tierra y el Sol) y, por tanto, mayor que la órbita de Plutón. Se piensa

En la imagen a toda página, el cometa Hyakutake, fotografiado con un objetivo de 28 mm, a f/3,5.

A la derecha, el Hyakutaka en el cielo de la primavera de 1996. Su larga cola de polvo y gases era la característica más notable para la observación.



que contiene algo así como un billón de núcleos de cometas. De ahí llegaron los dos cometas en cuestión.

UNA COLA INFINITA

El primero de los dos, el Hyakutake (llamado técnicamente 1996 B2), fue descubierto el 31 de enero de 1996 por el aficionado japonés Yuji Hyakutake, entre las constelaciones de Hidra y Libra. Es curioso observar que sólo un mes antes, el 26 de diciembre, había descubierto su primer cometa (1995 Y1), que se hallaba exactamente en la misma región del firmamento, lo que constituye un hecho sorprendente. Hyakutake utiliza para sus observaciones un gran binocular, con lentes de 15 cm de diámetro que permiten obtener 25 aumentos. Se dice que vendió su automóvil para poder comprarlo. Como se sabe, para descubrir cometas se necesitan instrumentos muy potentes, pero, sobre todo, una gran paciencia y asiduidad de observación. Por este motivo, tales objetos son descubiertos la mayoría de las veces por aficionados y no por astrónomos profesionales.

El cometa Hyakutake se caracteriza por su larga cola, que llegó a tener una amplitud de al menos 60 grados. El espectáculo que ofrecía era, pues, impresionante y, según ciertos expertos, irrepetible. Su notable luminosidad derivaba especialmente del hecho de que pasaba muy cerca de la Tierra; en su punto de distancia mínima (el 25 de marzo), pasó a poco más de 15 millones de kilómetros de nuestro planeta. Esta distancia es una

Abajo, la parte más luminosa del cometa Hale-Bopp, fotografiada con un objetivo de 250 mm a f/3,5 y con una exposición de ocho minutos aproximadamente.

décima parte de la que media entre la Tierra y el Sol, de tal modo que sitúa este cometa en el puesto decimonoveno absoluto de los cometas conocidos que han pasado cerca de la Tierra, y en el quinto de los de este siglo. Pero esta relativa cercanía hizo que su paso fuera muy rápido y que las mejores condiciones para su visibilidad se concentraran en no más de dos semanas entre los meses de marzo y abril. El mal tiempo que afectó a ciertas regiones del Mediterráneo impidió que pudiese observarse bien desde ellas.

COMETAS QUE HAN PASADO MÁS CERCA DE LA TIERRA

DESIGNACIÓN Y NOMBRE	FECHA	DISTANCIA (U.A.)
D/1770 L1 (Lexell)	1 de julio de 1770	0,0151
55P/1366 U1 (Tempel-Tuttle)	26 de octubre de 1366	0,0229
C/1983 H1 (IRAS-Iraki-Alcock)	11 de mayo de 1983	0,0312
1P/837 F1 (Halley)	10 de abril de 837	0,0334
3D/1805 V1 (Biela)	9 de diciembre de 1805	0,0366
C/1743 C1	8 de febrero de 1743	0,0390
7P/Pons-Winnecke	26 de junio de 1927	0,0394
C/1702 H1	20 de abril de 1702	0,0437
73P/1930 J1 (Schwassmann-Wachmann 3)	31 de mayo de 1930	0,0617
C/1983 J1 (Sugano-Saisuga-Fujikawa)	12 de junio de 1983	0,0628

QUÉ NOS HA ENSEÑADO

A pesar de su gran luminosidad, las dimensiones del núcleo del Hyakutake no eran excepcionales (del orden de los 3 km) y fueron difíciles de evaluar incluso por el telescopio espacial Hubble. El núcleo estaba en rotación, un fenómeno común en los cometas, lo mismo que en todos los objetos celestes, con un período aproximado de 6 horas.

Entre las observaciones más interesantes de este objeto, estudiado en todas las regiones del mundo desde las que era visible y en todas las longitudes de onda, cabe citar las referentes a su emisión de gas, polvo y diversas sustancias químicas. Especialmente, se comprobó por primera vez la emisión de una gran cantidad de etano y metano, sustancias clasificadas como hidrocarburos saturados. El metano estaba presente en una cantidad mil veces superior a la prevista por las teorías, según las cuales, estas moléculas se formarían en procesos físicos normales ocurridos en la nebulosa solar originaria. Este descubrimiento, hecho por el telescopio de infrarrojos instalado en el volcán hawaiano Mauna Kea, sugiere que el Hyakutake podría pertenecer a una nueva clase de cometas, y tiene profundas implicaciones en las teorías que tratan de describir las condiciones del sistema solar primordial. Tanto es así, que hoy se piensa que algunos cuerpos, considerados hasta ahora como asteroides, podrían ser núcleos muertos de cometas de corto período.

Por otra parte, la órbita parabólica del Hyakutake indica que probablemente este cometa no volverá a visitarnos jamás, ni siquiera en un futuro remoto.



UN DESCUBRIMIENTO INESPERADO

La noche del domingo 22 de julio de 1995, dos aficionados estadounidenses, Alan Hale y Thomas Bopp, no podían saber que sus vidas iban a cambiar de repente. Los dos estaban observando el cielo en las proximidades del cúmulo globular M70, en Sagitario, cuando se dieron cuenta de que había un objeto de aspecto difuso que no figuraba en los mapas. Hacia las 23 horas, Alan Hale se encontraba en Cloudcroft (Nuevo México) observando dos cometas ya conocidos. Para dejar pasar el tiempo entre la aparición del primer cometa y el segundo, apuntó a M70. A esta misma hora, en el desierto cercano a Phoenix (Arizona), Thomas Bopp participaba en una *star-party* de aficionados, es decir, en una velada de observación organizada, y vio también aquel débil objeto. De manera independiente, los dos enviaron su comunicación al Central Bureau for Astronomical Telegrams del Harvard Smithsonian Observatory y obtuvieron la paternidad compartida del descubrimiento.

En el momento de las primeras observaciones, el cometa se hallaba todavía muy lejos del Sol, a una distancia superior a la de Júpiter, pero su magnitud (entre 10 y 11) era característica de los cometas no más lejanos que Marte. Se trataba, pues, de un objeto de brillo absolutamente fuera de lo corriente, que ya a aquella distancia presentaba una cabellera observable. Además, era evidente que sería visible con prismáticos durante más de un año, y durante casi dos con un pequeño telescopio de aficionado, un hecho extraordinario que jamás se había dado en tiempos recientes.



Arriba, imagen del núcleo del Hale-Bopp tomada por el telescopio espacial Hubble en octubre de 1995. Ya entonces se podía observar una fuerte emisión de polvo.



A la izquierda, cuatro imágenes del cometa Hale-Bopp tomadas por el telescopio espacial Hubble el 23 de octubre de 1995, con tiempos de exposición que van de 60 a 600 segundos.

PERSONAJES

THOMAS BOPP NACIDO EN 1946

Thomas (Tom) Bopp trabaja en una empresa de materiales para la construcción. En el momento del descubrimiento estaba utilizando el telescopio de un amigo, y parece que nunca había observado un cometa. La historia que rodea su comunicación a la oportuna oficina internacional es muy curiosa: su teléfono móvil no funcionaba en medio del desierto en el que se encontraba y tuvo que conducir 150 km para volver a su casa, donde finalmente logró enviar un telegrama con los datos esenciales. Para Bopp y para Hale era el primer cometa que descubrían, aunque Hale es uno de los cazadores de cometas más expertos: ha observado más de 200.





Arriba, el Hale-Bopp en una exposición de 9 minutos con un objetivo de 1.000 mm a f/10. Las estrellas se ven ligeramente movidas debido a la prolongada exposición.

UNA CAMPAÑA SIN PRECEDENTES

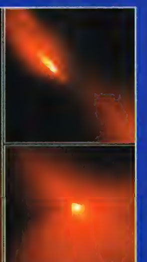
Desde aquel momento, la comunidad astronómica mundial siguió la evolución del cometa en su proceso de acercamiento. Todas las esperanzas se iban cumpliendo a medida que el Hale-Bopp se acercaba al punto de su órbita más cercano a la Tierra, al que llegó el 23 de marzo de 1997 (unos 196 millones de kilómetros).

La excepcionalidad del cometa Hale-Bopp ha servido para concentrar la atención de la opinión pública y de los medios de comunicación en el problema de la contaminación luminosa, es decir, el conjunto de luces parásitas que iluminan el cielo nocturno observado desde los centros habitados, con el resultado de privar a la gente del espectáculo del cielo estrellado.

Con ocasión del paso del Hale-Bopp, algunos municipios, grandes y pequeños, se comprometieron a apagar, o al menos a reducir, las luces en las noches en las que el cometa tendría más visibilidad (a principios de abril). El día 1 de abril se encontraba en el punto de su mínima distancia al Sol (138 millones de kilómetros), y su bella doble cola destacaba, con un brillo extraordinario, en las inmediaciones de la constelación de Andrómeda, con una magnitud comprendida entre –1 y –2.

UNA COLA DOBLE ¡Y HASTA TRIPLE!

La característica observable más evidente del cometa fue su doble cola: la primera, más luminosa y de color blanco amarillento, se debía a la emisión de polvo; la segunda, más débil y azulada, la producía la emisión de gas ionizado. La longitud de las colas llegó a alcanzar 20 grados. Se descubrió incluso una tercera cola, formada por átomos de sodio neutro, desplazada angularmente unas decenas de grados respecto a las dos primeras. El origen del sodio observado todavía no se ha explicado bien, pero es razonable suponer que provenía del núcleo.

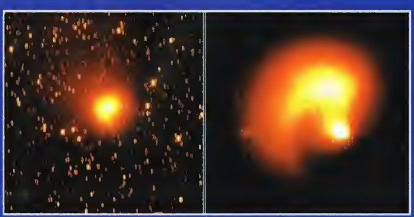


A la izquierda, el Hyakutake fotografiado por el telescopio especial Hubble el 25 de marzo de 1996, en el período de su máximo acercamiento a la Tierra. Se pueden ver los asimétricos chorros de polvo que emite el núcleo.

La intensidad de las emisiones del cometa, medida continuamente durante casi un año y medio, ha mostrado que emitía 20 veces más gas y 100 veces más polvo que el cometa Halley. Esta constatación ha permitido evaluar las dimensiones de su núcleo, que, por desgracia, no se pudo observar en directo, pero que han sido estimadas entre 30 y 50 km. Por tanto, eran excepcionalmente grandes. Su rotación tenía una periodicidad de 11-12 horas.

A finales de septiembre de 1996, se podían observar ya unos diez chorros de materia expulsada por el núcleo, tanto en dirección al Sol como en dirección opuesta. Durante todo el período de aproximación al Sol, el cometa mostró una actividad inusualmente intensa, con *bursts* continuos (explosiones con expulsión de materia y gas).





Las dos imágenes superiores muestran la zona central del Hale-Bopp, con un fragmento que se mueve a 17 m/s. En las imágenes de abajo, el Hale-Bopp fotografiado por el Hubble el 26 de septiembre de 1995. La primera se obtuvo con una exposición de 300 segundos y la segunda superponiendo dos imágenes para hacer visible la coma interna.

PERSONAJES

ALAN HALE NACIDO EN 1959

Alan Hale, el primero de los descubridores del cometa del siglo, es doctor en astronomía. A pesar de esto, no es astrónomo profesional. Durante el día dirige una organización privada de investigación espacial, el Southwest Institute for Space Research en Cloudcroft (Nuevo México). Está casado y tiene dos hijos. De noche, aprovecha el cielo todavía casi sin contaminar por las luces artificiales de la zona central de Estados Unidos para observar cometas conocidos, utilizando un reflector de 40 cm de diámetro. En sus tiempos de la escuela superior ya intentaba descubrir un nuevo cometa, pero sin éxito.

La explicación de estos hechos parece estar en la copiosa producción (hasta 15 toneladas por segundo) de CO_2 del cometa. Por primera vez también se observó la presencia de helio en un cometa.

UNA CARACTERÍSTICA COMÚN

El Hyakutake y el Hale-Bopp compartieron una característica interesante y peculiar. El Hyakutake fue el primer cometa observado que emitía rayos X según unos procesos que todavía se están estudiando. No se esperaba que un objeto relativamente «tranquilo» como un cometa emitiera rayos X, una característica propia de objetos mucho más «violentos», como, por ejemplo, las estrellas de neutrones. Esta observación ha hecho que los astrónomos empezaran a observar los cometas con los nuevos ojos de los rayos X, hasta tal punto que, en el período de un año, se han descubierto otros cinco cometas que emiten a aquellas longitudes de onda. Entre ellos está el Hale-Bopp. Por la cantidad de informaciones que proporcionó este cometa a los científicos durante su paso, se ha llegado a decir que con él se han aprendido más cosas sobre los cometas que las que se nos habían enseñado a lo largo de la historia.

Abajo, el cometa Hyakutake, 1996 B2. En las emisiones de su cola se han detectado grandes cantidades de etano y metano.

LA MATERIA OSCURA

La luz emitida por las estrellas que vemos es producida por una pequeña fracción de la materia que hay en el universo. La mayor parte de la masa es invisible, aunque los efectos de su gravedad son dominantes para el destino del cosmos. Es la llamada «materia oscura».



No todo lo que existe en el universo es observable por los seres humanos. La astronomía, tal como la conocemos, se ocupa de sondear las profundidades del espacio utilizando instrumentos que recogen las ondas electromagnéticas emitidas por los diversos cuerpos celestes, ondas electromagnéticas como la luz (utilizando los telescopios normales), las ondas radio (captadas y registradas por los radiotelescopios) y los rayos X (detectados por aparatos similares a telescopios montados en satélites en órbita alrededor de la Tierra). Sólo recientemente, la astronomía ha utilizado detectores de neutrinos, partículas subatómicas que son emitidas durante algunas reacciones nucleares para «observar» fenómenos como las emisiones de nuestro Sol o las explosiones de supernovas.

En general, sólo podemos observar lo que emite luz. Esta materia, que llamaremos luminosa, puede emitir luz gracias a procesos que se producen en su interior, como en el caso de las estrellas, o reemitir radiación luminosa que le llega del exterior, como los planetas, que difunden la luz del Sol, o las nebulosas «de reflexión» que, gracias a una estrella cercana, aparecen luminosas y a menudo coloreadas.

Sin embargo, no toda la materia es visible, puesto que es posible que no emita luz propia, que no esté iluminada por una estrella suficientemente cercana, que sea completamente opaca y no reemita ninguna radiación (como si fuese carbón) o que sea tan transparente que no pueda verse aunque esté iluminada (como ciertos cristales bien trabajados y pulidos). En astronomía, y todavía más en cosmología, esta clase de materia se llama materia oscura.



A la derecha, M33, galaxia del Triángulo. A través del estudio de esta galaxia espiral han sido posibles las primeras mediciones de la curva de rotación y de la cantidad de materia oscura presente en el halo de la galaxia.



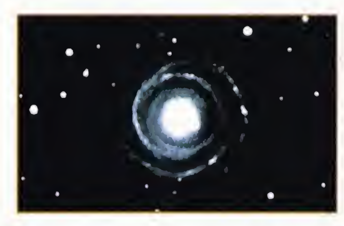
A la izquierda, la galaxia espiral NGC 1672 observada en luz visible. La información contenida en esta imagen es puramente espacial y geométrica. Para obtener informaciones acerca del estado cinemático de las estrellas que contiene, es necesario adoptar otros modelos de análisis, como la espectrografía o la interferometría de Fabry-Perot.

De cualquier modo, esta materia invisible también produce sus efectos, porque toda materia posee una masa, y masa significa gravitación. Es decir, la materia oscura está sometida a la gravedad de los demás cuerpos y su propio campo gravitatorio tiene influencia sobre el movimiento de los otros cuerpos. Precisamente de esta manera se calculó la existencia de los planetas más exteriores del sistema solar. Antes de 1846, el planeta Neptuno podía considerarse como materia oscura: se podía deducir su existencia por las anomalías que se observaban en la órbita de Urano, pero no se podía ver. Sin embargo, bastó un mejor telescopio para poder observar la luz reflejada por Neptuno.

Observando anomalías similares del movimiento de las estrellas y de las galaxias se ha comprendido que también en el universo tiene que haber materia oscura. En cierto sentido, esta constatación es espectacular, hasta el punto de que las más recientes observaciones y teorías indican que cerca del 99% de la materia que compone nuestro universo es invisible para nuestro análisis.

¿DÓNDE ESTÁ LA MATERIA OSCURA?

El primero en darse cuenta de que faltaba una gran cantidad de materia en las interacciones del cúmulo de galaxias de Virgo fue el astrónomo estadounidense Fritz Zwicky en los años cuarenta. Las galaxias del cúmulo orbitan alrededor de su centro de gravedad con velocidades tan elevadas, que la masa total del cúmulo debe de ser de 10 a



A la izquierda, la galaxia espiral NGC 4622 vista de frente. Gira alrededor de un eje orientado hacia nuestro punto de vista, y por eso es difícil medir su rotación. Ninguna de sus estrellas tiene una componente de acercamiento o de alejamiento respecto a nosotros; por eso, el análisis espectroscópico basado en el efecto Doppler no da ningún resultado.

100 veces mayor que la que puede calcularse contando y «pesando» las galaxias observables.

Pero en las dos últimas décadas se han efectuado mediciones más precisas.

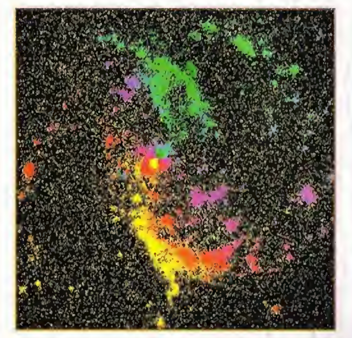
Cuando se observan las velocidades con que las estrellas cercanas al Sol tratan de salir verticalmente del disco de nuestra Vía Láctea, puede comprobarse que la masa de las estrellas del disco vuelve a capturar estas estrellas en fuga.

Por tanto, si sólo existiese la masa que observamos, tarde o temprano todas las estrellas lograrían salir del disco y, en unos pocos millones de años, se habrían «evaporado» y el disco habría desaparecido. Como el disco de nuestra Galaxia con sus brazos espirales existe desde hace miles de millones de años, debemos suponer que la masa del disco está compuesta no sólo por las estrellas que podemos ver, sino por cerca de la mitad de materia invisible. En este caso, la materia oscura simplemente podría consistir en estrellas y planetas demasiado pequeños para ser visibles con nuestros telescopios.

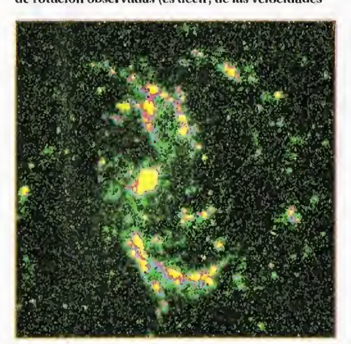
La primera evaluación de la cantidad de masa que falta, la oscura, se hizo con el estudio de la rotación de las galaxias espirales. La velocidad de rotación depende de la masa total que hay en el núcleo de la Galaxia y de la distancia a la que orbita el objeto considerado.

Esto es similar a lo que sucede en nuestro sistema solar: teniendo en cuenta toda la masa concentrada en el centro (el Sol), la velocidad, llamada kepleriana, de los planetas varía de manera inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la distancia al Sol: cuanto más alejado está un planeta, menor es su velocidad. En una galaxia, si toda su masa fuese la de las estrellas luminosas que observamos, por lo menos en las partes más periféricas de la espiral deberíamos observar estrellas que orbitan con velocidades keplerianas, decrecientes a medida que se van alejando del centro. La rotación de una galaxia puede observarse mediante mediciones espectroscópicas utilizando el efecto Doppler, que hace que nos aparezca más roja la luz emitida por una estrella que se aleja de nosotros y más azul la de otra que se acerca. Por tanto, en una galaxia en rotación vemos estrellas que son un poco más rojas en una parte y un poco más azules en otra. Además, es posible observar las nubes de gas que orbitan a mayores distancias del centro que las últimas estrellas observables y, procediendo así, pueden medirse velocidades orbitales hasta distancias de 50 kiloparsecs del núcleo galáctico (el Sol está a unos 8 kiloparsecs del centro de la Vía Láctea). Las curvas de rotación observadas (es decir, de las velocidades orbitales en función de la distancia al centro) muestran un comportamiento muy extraño: su velocidad no disminuye, sino que en algunos casos incluso continúa aumentando hasta distancias de decenas de kiloparsecs. La materia necesaria para imponer unas velocidades tan elevadas debe ser, al menos, unas 50 veces mayor que la observada en forma de estrellas y gas luminosos.

Por tanto, cada interacción gravitatoria es producida por una masa, cuya cantidad podemos estimar midiendo las distancias y las velocidades que intervienen. Distancia y velocidad pueden medirse fácilmente en los casos de galaxias binarias que

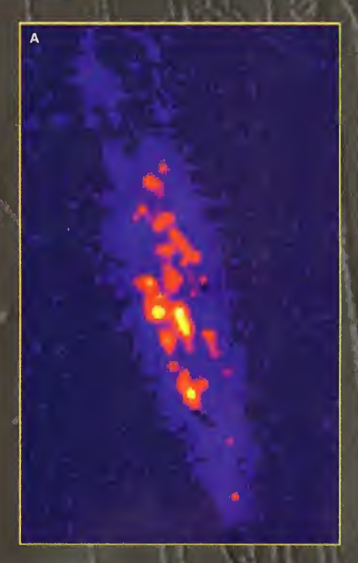


La técnica de Fabry-Perot se basa en el empleo de un interferómetro para analizar muy detalladamente la longitud de onda de la luz emitida. La luz emitida en H_α tiene una longitud de onda de 656,3 nanómetros. Si la fuente se mueve con una velocidad v respecto a nosotros mientras la observamos, la longitud de onda medida efectivamente es igual a $656{,}3(1 + v/c)$, donde c es la velocidad de la luz. Si v es positiva, la longitud de onda será mayor y la luz observada será más roja; por el contrario, si v es negativa, la luz será más azul y la longitud de onda menor. En la imagen de la izquierda, la variación continua de la velocidad a lo largo de la línea de visión se ha codificado con la secuencia de colores verde-rosa-rojo-naranja-amarillo; hacia el verde, las regiones que se alejan de nosotros; hacia el amarillo, las que se acercan. De esta manera es posible reconstruir el mapa de velocidades del interior del disco galáctico.



Arriba, la NGC 1672 observada en la luz monocromática emitida por el hidrógeno en su desexcitación, presente en las nubes de gas que pueblan el disco de la galaxia espiral. Se observan los puntos luminosos que indican grandes cantidades de gas iluminado por estrellas brillantes y jóvenes. Las galaxias espirales son una fragua de estrellas que funcionan desde hace miles de millones de años.

A la derecha, la galaxia espiral NGC 1406. La imagen A está tomada en la raya del hidrógeno que muestra la disposición de las regiones HII. La imagen B indica el mapa de velocidades: en azul, la parte de la galaxia que se acerca a nosotros; en rojo, lo que se aleja.





orbitan una alrededor de otra (como nuestra Galaxia y la de Andrómeda), de grupos de galaxias (varias decenas) y de cúmulos de galaxias (hasta miles de galaxias ligadas gravitatoriamente). Las medidas del cociente entre masa efectiva y masa luminosa (que por comodidad se miden en masas solares) llegan a 100 para las galaxias dobles y hasta 300 para los grupos y los cúmulos de galaxias.

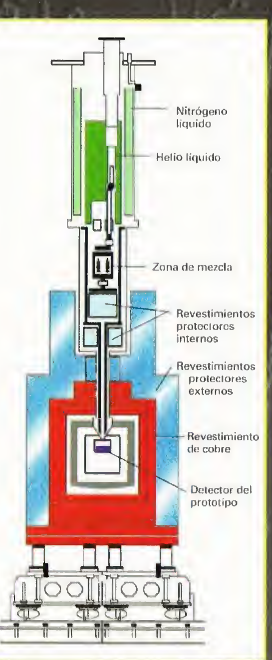
A escalas todavía mayores que las de los cúmulos de galaxias hay que observar que las masas incluidas en los supercúmulos modifican localmente la expansión uniforme del universo prevista por la teoría del Big Bang. En nuestras proximidades, a la escala de distancias de 20 megaparsecs, el supercúmulo de Virgo del que formamos parte presenta una expansión frenada por la masa oscura que contiene, que, también en este caso, es unas 300 veces la luminosa.

Más allá de estas escalas de distancias, en el universo no existen sistemas ligados gravitatoriamente. Sin embargo, hay concentraciones enormes de galaxias y cúmulos que pueden hacer más lenta la expansión prevista por la ley de Hubble, incluso a enormes distancias. Una de ellas podría ser el denominado Gran Atractor. Se encuentra a unos 40 megaparsecs de nosotros y todo nuestro supercúmulo está cayendo lentamente hacia este pozo de potencial gravitatorio. La densidad de la materia (oscura) necesaria para explicar estas fuerzas en juego podría estar próxima al valor de la densidad definida como crítica para detener la expansión del universo.

A la derecha, el edificio subterráneo en el que se aloja la cámara criogénica para el experimento CRESST, en las galerías del laboratorio del Gran Sasso (Italia).

¿CUÁNTA MASA ES «NECESARIA» PARA NUESTRO UNIVERSO?

El problema de la masa que falta se hace cada vez más evidente con el aumento de la porción de universo que consideramos. ¿Qué sucede si tomamos el universo entero? Algunos problemas incluidos en la versión del cosmos y de su evolución derivada de la teoría cosmológica estándar del Big Bang se han resuelto con la teoría de la inflación.



Esquema del conjunto de dispositivos del experimento CRESST. El detector está apantallado con varias capas de cobre y plomo, además de la gruesa capa de roca del macizo del Gran Sasso. Esto es necesario para eliminar el fondo de rayos cósmicos, que produciría señales similares a las de la interacción de los WIMP con el cristal dal detector.

EL EXPERIMENTO CRESST

En la búsqueda de la materia oscura, la física de las partículas está íntimamente ligada con la cosmología. Se han efectuado numerosos experimentos para intentar detectar los rastros de las partículas exóticas apantallando sofisticados detectores contra las radiaciones espúreas presentes habitualmente en la naturaleza. Debajo del Gran Sasso, en una instalación del laboratorio nacional de Italia, el experimento CRESST (Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers, es decir, investigación criogénica de acontecimientos raros con termómetros superconductores) se ha desarrollado gracias a la colaboración internacional para la detección de los WIMP, partículas exóticas no bariónicas que tienen una interacción extremadamente débil con la materia ordinaria y, por tanto, son difícilmente detectables. La técnica utilizada en el CRESST tiene su núcleo en un detector constituido por cuatro cristales de zafiro de 262 g de peso cada uno. Los cristales están recubiertos de una fina capa de material superconductor que se mantiene a una temperatura de 0,015 K. A esta temperatura, el material está a medio camino entre la fase de conductividad normal y la de superconductividad. En consecuencia, una mínima variación de su temperatura modifica sustancialmente la resistencia del material. Esta variación de temperatura tan pequeña es precisamente la que se espera en el caso de una colisión entre un WIMP de pequeña masa (unas 10.000 veces la masa del protón) y un núcleo del cristal.

Este término indica una súbita y gigantesca ampliación de todo el universo. Según esta teoría, un acontecimiento de estas proporciones puede ocurrir cuando la superfuerza presente en el universo muy joven se «escinde» en las fuerzas gravitatorias, electromagnéticas y nucleares a causa de su enfriamiento en los instantes que siguieron al Big Bang. ¡Esta escisión debió de producirse cuando el universo tenía tan sólo una edad de 10^{-35} segundos y se habría agrandado en un factor 10^{50} en un intervalo de tiempo del orden de 10^{-30} segundos! Esta expansión del espacio-tiempo debió de producir el efecto de estirar su estructura hasta hacerlo plano o hasta hacerle alcanzar la densidad de materia exacta que divide los dos destinos posibles para el universo: un colapso final si la densidad es demasiado elevada o una lenta e indefinida expansión si la densidad es demasiado baja. Esta densidad crítica implica una relación entre masa oscura y masa luminosa del orden de 1.500, mucho más allá de las mediciones efectuadas incluso en los grandes cúmulos de galaxias. Sólo a las enormes escalas de los supercúmulos o aun mayores se obtendría alguna indicación de si la cantidad de materia es la necesaria para la densidad crítica.

¿DE QUÉ ESTÁ HECHA LA MATERIA OSCURA?

Dada la invisibilidad de la materia oscura, su naturaleza es desconocida hasta hoy. Sin embargo, muchas son las hipótesis y los candidatos constituyentes de esta materia que falta.

En primer lugar, debe dividirse la materia en dos grandes clases: la bariónica y la no bariónica. La materia ordinaria como la que conocemos, constituida por protones y neutrones, se llama bariónica. Se produjo en las primeras fases de la

A la derecha, el núcleo del experimento CRESST: cuatro cristales de zafiro de 262 g de peso cada uno. La fina capa de tungsteno, que se ha evaporado para que recubra la superficie de los cristales, a la temperatura de 15 milikelvins se convierte en un superconductor.





La hipótesis de que la materia oscura está compuesta, al menos parcialmente, de materia bariónica en forma de estrellas pequeñas y débiles o planetas gigantes, se está poniendo a prueba utilizando observaciones fotométricas que detectan su paso por delante de una estrella lejana. El proyecto MACHO, que lleva el nombre de los cuerpos que se buscan (Massive Compact Halo Objects, es decir, objetos masivos y compactos del halo galáctico), se basa en la observación constante de una gran cantidad de estrellas de la Gran Nube de Magallanes y del núcleo de la Vía Láctea, esperando que un MACHO perteneciente al halo de nuestra Galaxia pasa por delante de una de ellas. El efecto observable es un fenómeno temporal de amplificación de la luz (y no de ocultación), gracias al hecho de que el objeto compacto funcione como lente gravitatoria para la estrella que tiene detrás.

historia del universo, después del Big Bang. La materia bariónica invisible podría encontrarse en forma de grandes planetas o de pequeñas estrellas, compactas y poco luminosas. Estos cuerpos se han denominado MACHO (Massive Compact Halo Objects), y en su búsqueda se utilizan telescopios específicos que observan el efecto de su paso por delante de una estrella de fondo. Se produce una amplificación temporal de la luminosidad por el fenómeno de lente gravitatoria. Se están observando continuamente millones de estrellas para descubrir de qué tipo y de qué masa son estos MACHO. Los últimos resultados han revelado que una parte de la materia oscura del halo de nuestra Galaxia podría estar constituida por estrellas enanas blancas, y que están excluidas las enanas marrones. Las primeras son las reliquias de estrellas de masa parecida a la del Sol después de la fase moderadamente violenta de gigante roja, al final de su vida estelar. En cambio, las enanas marrones serían estrellas de masa muy pequeña, no mayor de una décima de la del Sol.

Sin embargo, la teoría del Big Bang prevé que, durante el mismo, no se produjo más de la décima parte de la masa bariónica necesaria para obtener la densidad crítica. La masa total en forma bariónica afecta a las proporciones relativas del hidrógeno y del helio, y las observaciones de su relación están de acuerdo con esta previsión.

Sólo queda elegir como candidatas las partículas exóticas previstas u observadas en las reacciones nucleares de muy alta energía.

De estas partículas no bariónicas la más conocida es el neutrino. Se trata de una partícula de carga neutra, de masa nula, y que se mueve a la velocidad de la luz. Se produce en las reacciones nucleares y, en particular, en la desintegración de un neutrón aislado, que genera un protón, un electrón y un neutrino. Las recientes investigaciones han tratado de medir la posible, aunque minúscula, masa en reposo del neutrino. Se ha podido establecer que, si tal masa no es nula, no sería superior a una millonésima parte de la del electrón. Sin embargo, la cantidad de neutrinos producidos en el universo primordial fue tan grande, que sólo bastaría una masa diez veces superior a la indicada para tener un universo con la densidad crítica. Partículas ligeras y veloces como el neutrino constituirían una materia oscura con un grado de recombinación extremadamente elevado, la llamada materia oscura fría (*cold dark matter* en inglés).

El otro tipo de materia no bariónica son los llamados WIMP (Weakly Interacting Massive Particles), de masa elevada, sin carga y con una escasísima interacción con la materia ordinaria. Una de estas partículas, predichas teóricamente pero nunca observadas, es el fotino, la partícula análoga al fotón, el cuanto de radiación electromagnética. La existencia de la familia de partículas -ino está prevista en las teorías de supersimetría de las fuerzas elementales. Actualmente, en nuestro universo, actúan cuatro fuerzas diferentes: la fuerza nuclear fuerte, la débil, la electromagnética y la gravitatoria. Las teorías supersimétricas postulan que, con el aumento de la energía media de los procesos en juego, las fuerzas dejan de ser diferentes y se convierten en una fuerza única. Este proceso se produce por pasos, unificándose primero las fuerzas débil y electromagnética. La producción de los



A la izquierda, la instrumentación dedicada a la búsqueda de los MACHO.

El telescopio de 50 pulgadas del observatorio australiano de Mount Stromlo (a la derecha) se emplea habitualmente para el proyecto MACHO.







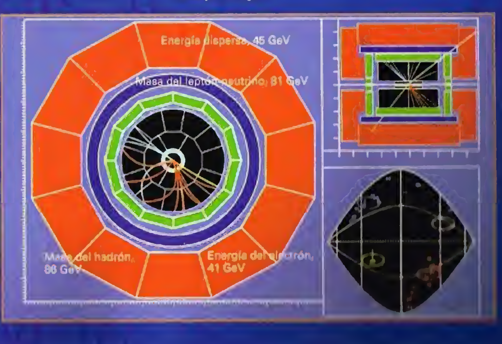
La Gran Nube de Magallanes (arriba) es el objetivo ideal para la búsqueda de acontecimientos de lentes gravitatorias. La densidad de estrellas es muy elevada, y la distancia entre nosotros y la Nube permite observar buena parte de nuestro halo galáctico. Arriba a la derecha se indican los campos numerados elegidos para las observaciones.

bosones Z^0 en los laboratorios del CERN, cerca de Ginebra, ha confirmado con éxito esta unificación de la fuerza electrodébil. Las partículas -ino, como los fotinos, deberían haberse producido en unas condiciones que ningún acelerador de partículas de la Tierra puede esperar obtener. Por tanto, su existencia sería un resto de la elevada temperatura en los primeros instantes posteriores al Big Bang. También es posible que existan WIMP de una masa equivalente a 1.000 o 10.000 protones, y en esta década se están preparando algunos experimentos para la detección de estos -inos ligeros, como el experimento CRESST en el laboratorio del Gran Sasso (Italia).

La naturaleza caliente o fría de la materia oscura también tiene una gran influencia en la formación de las estructuras como las galaxias y los cúmulos de galaxias. Dada la preponderancia de la materia oscura respecto a la luminosa, es seguro que gracias a la agregación de las partículas oscuras se formaron las primeras estrellas y galaxias a partir del universo homogéneo producido inicialmente por el Big Bang. La materia demasiado caliente formó las estructuras en agregaciones y destruyó las de pequeñas dimensiones. En el caso de un universo con materia oscura caliente, las estructuras que se formarían primero serían los cúmulos y los supercúmulos de galaxias. Sólo después, con la disminución de la temperatura, de estas grandes masas se habrían formado las galaxias por fragmentación. Sin embargo, las galaxias observadas tienen una edad demasiado elevada para haber nacido en último lugar. Por otra parte, si bien una materia oscura fría explica mejor la edad observada en las galaxias, que estarían entre las primeras en formarse, no consigue tener en cuenta ni predecir las enormes estructuras como el Gran Atractor, imposibles en un escenario con un universo dominado por la materia oscura fría.

Por ahora, las teorías no pueden responder definitivamente a la pregunta sobre la constitución de la materia oscura, y actualmente se están examinando posibles componentes, algunas frías y otras calientes, para explicar simultáneamente los diferentes fenómenos observados en el universo a grande y pequeña escala.

En los grandes aceleradores de partículas se hacen colisionar frontalmente partículas con sus propias antipartículas. De esta manera, los electrones y los protones emiten grandes cantidades de energía en un instante extremadamente breve. Su finalidad es producir algunas partículas que sólo existen a temperaturas muy elevadas, como las que había en los primeros instantes del universo, que se cree que constituyen la materia oscura. En la ilustración de abajo, el registro de un acontecimiento de producción de hadrones (un tipo de partículas) del experimento ALEPH en el acelerador del CERN, cerca de Ginebra (Suiza). Las trazas de las partículas producidas en la microscópica explosión provocada se apartan del centro a lo largo de trayectorias curvas o rectilíneas, según su masa y su carga.



RELOJ-RETÍCULO

Las constelaciones australes del Reloj y del Retículo son otras evanescentes agrupaciones estelares ideadas por el abate Lacaille.



El Reloj y el Retículo, al igual que muchas otras constelaciones introducidas en tiempos relativamente recientes, es decir, a partir del siglo XVI, son poco interesantes y están constituidas por astros poco luminosos.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

Estas dos constelaciones se encuentran a occidente del Dorado, del Pintor y del Cincel. Una vez identificadas estas últimas, deberemos mirar a su derecha si observamos la bóveda celeste con el Norte hacia arriba. Debido a su posición en declinaciones negativas para un observador situado en el hemisferio norte, éste deberá buscar el Reloj y el Retículo a la izquierda de las constelaciones antes citadas, que aparecerán justamente por encima del horizonte.

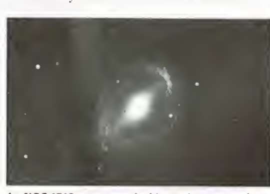
ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella Alfa (magnitud 3,4) del Retículo es la más luminosa de estas dos constelaciones y la única de tercera magnitud. Es una estrella amarilla que dista 400 años luz de nosotros. Gamma es una estrella cuya luminosidad oscila entre las magnitudes 4,4 y 4,6 de manera semirregular en un período de 25 días. Este astro tiene una temperatura superficial tan baja que su luz es roja.

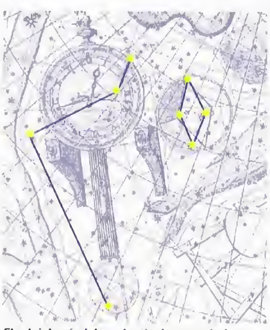
Zeta, en cambio, es una estrella doble fácilmente separable en dos objetos distantes 310", es decir, poco más de 5', un ángulo igual a la sexta parte del que subtiende el disco lunar. Las dos estrellas de este par se llaman Zeta 1 y Zeta 2 y tienen unas magnitudes de 5,5 y 5,2, respectivamente.

El astro más luminoso de la constelación del Reloj es Alfa (magnitud 3,9), distante 190 años luz.

En la misma constelación, R es un sistema similar a la estrella variable Mira de la constelación de la Ballena. Al igual que ésta, pulsa durante largos períodos; en este caso, en 407 días y medio, variando también considerablemente sus dimensiones y pasando de la magnitud 4,7 a la 14,3. Por tanto, desaparece de la vista para los telescopios de diámetro inferior a 20 cm.



La NGC 1512 es una espiral barrada que puede observarse en la constelación del Reloj. Su magnitud es 11,5 y dista de nosotros unos 50 millones de a.l.



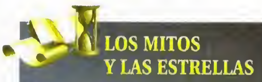
El reloj de péndulo y el retículo astronómico fueron inmortalizados en el cielo en forma de constelaciones por Lacaille.

OTROS OBJETOS DEL RELOJ Y DEL RETÍCULO

Las constelaciones del Reloj y del Retículo también son pobres en objetos telescópicos.

El único objeto digno de mención se encuentra en el Reloj, y se trata de una galaxia que tiene el número de catálogo NGC 1512.

Esta galaxia tiene forma de espiral barrada, con una luminosa banda central que atraviesa su núcleo.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

RELOJ-RETÍCULO

Las 88 constelaciones que hoy están universalmente aceptadas se instituyeron en diversos períodos y con criterios desiguales. Lacaille, en su «reforma» del cielo austral, asoció figuras de instrumentos o de máquinas a las constelaciones. El Reloj nos recuerda el péndulo, la máquina que permite controlar la más evasiva de las dimensiones. El Retículo se introdujo para inmortalizar uno de los instrumentos más utilizados por los astrónomos para posicionar las estrellas en la bóveda celeste, el retículo astronómico. Por haber sido introducidas recientemente, estas dos constelaciones no están asociadas a ningún mito.

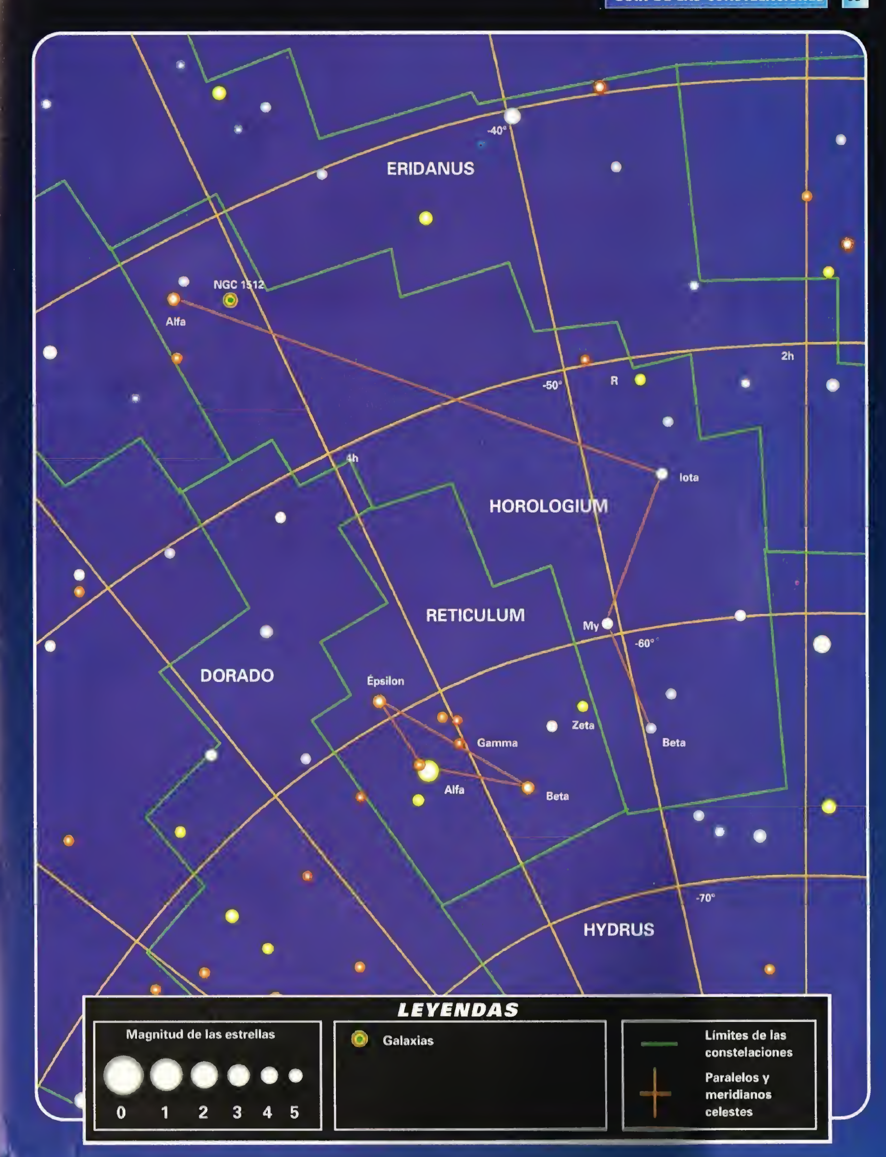
DÓNDE BUSCARLAS

RELOJ-RETÍCULO

De estas constelaciones, sólo dos estrellas del Reloj son observables desde el hemisferio norte; los demás astros quedan siempre por debajo del horizonte, invisibles durante todo el año. La oposición al Sol de Alfa del Reloj se produce hacia finales de noviembre.

El Reloj abarca una región del cielo comprendida entre las 2 horas 15 minutos y las 4 horas 20 minutos de ascensión recta, y entre –40 y –67° de declinación, aproximadamente.

El Retículo está limitado entre las ascensiones rectas 3 horas 15 minutos y 4 horas 35 minutos, y entre –53 y –67° de declinación, aproximadamente.



ERIDANUS
-40°
NGC 1512
Alfa
-50°
R
2h
4h
Iota
HOROLOGIUM
RETICULUM
My
-60°
DORADO
Épsilon
Zeta
Gamma
Beta
Alfa
Beta
-70°
HYDRUS
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LAS HORAS MÁS NEGRAS DE LA ASTRONÁUTICA

La conquista del espacio ha costado vidas. A veces, por falta de las medidas de seguridad adecuadas; otras, por incidentes muy difíciles de prever y de prevenir. Sin embargo, a pesar del enorme riesgo que comportan las hazañas espaciales, los incidentes graves han sido muy escasos.



Después de haber regresado de su viaje orbital, John Glenn había puesto en guardia a los técnicos de la NASA al advertirles que se estaba siguiendo un camino que no siempre sería de éxitos. «El programa debe revisarse aun a costa de sacrificarlo en parte. Hasta ahora hemos sido afortunados», declaró.

Aprender a convivir con la posibilidad de un incidente forma parte del entrenamiento de todo astronauta. Cualquier ingeniero tiembla ante el pensamiento de que un cohete pueda explosionar en el momento del ascenso, un vehículo espacial se desintegre durante la reentrada, o una cápsula que no funcione correctamente quede a la deriva en el espacio.

Unos carteles repartidos por las empresas constructoras de California recuerdan a los operarios que la vida de los astronautas depende de la responsabilidad de cada uno de ellos en la asunción de su trabajo.

Pero, a pesar de todo, sobre el proyecto Apollo se abatió una auténtica catástrofe.

TRAGEDIA EN TIERRA

La tragedia no ocurrió en el espacio ni en la Luna, sino en la Tierra. Era el 27 de enero de 1967, a poco menos de un mes del primer vuelo tripulado de una cápsula Apollo.



De izquierda a derecha, Virgil Grissom, Roger Chaffee y Edward White, la tripulación de la Apollo-1. Con su vuelo se habría dado la aprobación al programa que debía llevar al hombre a la Luna.



John Glenn, el primer astronauta estadounidense y ferviente defensor de la investigación espacial humana, fue de los primeros «hombres del cosmos» que señaló el peligro de los vuelos espaciales. El día del accidente de la Apollo-1, sus palabras parecieron premonitorias.

Los tres miembros de la tripulación, Virgil Grissom, Ed White y Roger Chaffee, se estaban entrenando en el vehículo instalado en lo alto de un cohete Saturno I-B, de 68 m de altura, cerca de la rampa de lanzamiento número 34.

En la tarde de aquel viernes, los tres astronautas, equipados como si fueran a ser lanzados, estaban tumbados y sujetos con los cinturones en las literas de la Apollo-1: Grissom a la izquierda, White en medio y Chaffee a la derecha. El cohete no tenía combustible, pero, aparte de esto, se trataba de una verdadera prueba general de la fase final de la cuenta atrás que precede al lanzamiento.

No se consideraba una prueba peligrosa precisamente porque el cohete no estaba cargado. Por tanto, no existía la gran tensión que precede a los lanzamientos, y ni siquiera estaban presentes los equipos de emergencia médicos ni de vigilancia de incendios.

Los astronautas estaban dentro de la cápsula espacial, la escotilla había sido

cerrada y asegurada, y la cabina se había llenado totalmente de oxígeno puro a una presión de 1,7 kg/cm². Era el valor de presurización calculado para la Apollo en espera de la partida.

Sin embargo, para los tripulantes de la Apollo-1 era una jornada de contratiempos.

Habían subido a la cápsula hacia la una del mediodía, con unas dos horas de retraso a causa de ciertas dificultades en los controles. Poco después de haberse colocado en posición de despegue, Grissom percibió un extraño olor en la instalación de oxígeno de su traje espacial.

No se encontró ninguna anomalía, por lo que prosiguió el proceso de la cuenta atrás. Se observaron entonces algunas irregularidades en las comunicaciones y de nuevo se interrumpió la cuenta atrás.

A las 18.30, la temperatura y la presión en el interior de la cabina resultaron normales, a pesar de un aumento de la corriente.

Súbitamente, a las 18.31 ocurrió lo irreparable. Alguien, quizá Chaffee, estaba profiriendo, a través de una serie de descargas, una exclamación que alguien interpretó como la palabra «¡fuego!». Otros dijeron haber oído cómo Chaffee decía: «Huelo a quemado».

Pasó todavía un segundo y entonces los instrumentos en tierra indicaron un repentino aumento de la temperatura de la cabina.

En aquel momento, los gritos en el interior de la Apollo se oyeron más claramente: «¡Hay un incendio en la cabina!».

La temperatura continuaba aumentando. A los técnicos de la sala de control les llegaban otras frases confusas: «Aquí hay un incendio... Sacadnos... Nos estamos quemando...».



Así se colocaban los astronautas en el interior de la cápsula Apollo. A la izquierda, Edward White, piloto veterano; en el centro, Roger Chaffee, piloto; a la derecha, Virgil Grissom, piloto comandante. A pesar de ser más espaciosas que las Gemini, las cápsulas Apollo tampoco ofrecían grandes posibilidades de movimiento.

Luego, un horrorizado grito de dolor. A las 18 horas 31 minutos y 17 segundos, exactamente 14 segundos después del momento en que el fuego fue advertido, la presión en el interior de la cabina llegó a los 2 kg/cm², lo que provocó que la estructura cediera y quedara destrozada.

Pasaron cerca de 5 minutos antes de que los técnicos y los servicios de urgencia pudieran intervenir: demasiado tiempo para evitar la tragedia. Cuando llegaron a la cabina, allí sólo había cadáveres.

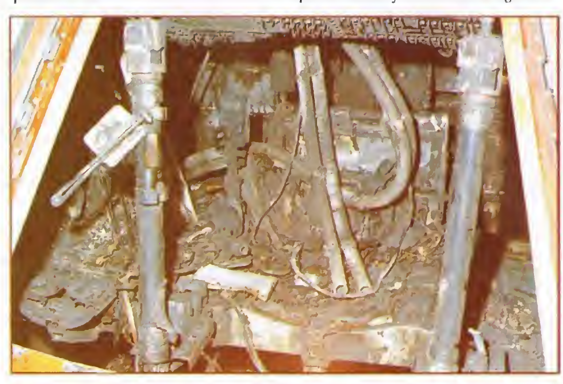
White yacía en su litera con los brazos sobre la cabeza, quizá en un intento de agarrarse a la escotilla. Grissom parecía tener un brazo tendido. Chaffee estaba hundido en su litera. Seguramente su agonía duró de 15 a 30 segundos a partir del momento en que se detectó el incendio.

¿QUÉ HABÍA SUCEDIDO?

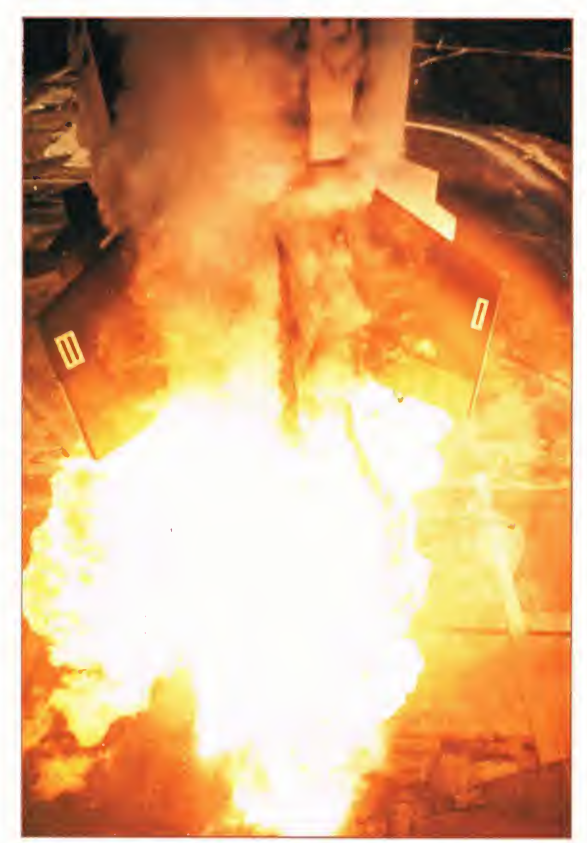
Una de las primeras resoluciones adoptadas por la NASA después del siniestro fue nombrar una comisión de investigación presidida por Floyd Thompson, director del Centro de Investigación Langley y uno de los hombres más influyentes en el sector aeroespacial. Los miembros de la comisión, llamada oficialmente «Comisión de revisión Apollo 204», se reunieron inmediatamente, interrogaron a testigos oculares y convocaron a unos 1.500 expertos en incendios y explosivos, proyectos de vehículos espaciales, química, electrónica y medicina.

Los investigadores desmontaron la cabina en busca de indicios y examinaron todos los datos que quedaron registrados de la fatídica prueba.

Después de diecisiete semanas de intenso trabajo, la comisión presentó un informe de tres mil páginas en el cual se analizaban



La imagen de la izquierda muestra el interior de la cápsula Apollo después del incendio. En ella murieron los astronautas estadounidenses E. White, R. Chaffee y V. Grissom. No lograron abrir la compuerta desde el interior y su muerte se produjo por asfixia.



La partida de un cohete (en la imagen, el lanzamiento de un Saturno con una cápsula Apollo) es una de las fases más peligrosas de un viaje espacial. Después del accidente de la Apollo-1, se adoptaron diversas medidas para salvaguardar a los astronautas incluso durante el lanzamiento.

cuidadosamente los hechos relativos al incendio y todo el proceso de realización y construcción de la Apollo.

La comisión criticó severamente a todos los que habían intervenido en el proyecto Apollo y denunció muchas deficiencias en el proyecto y la realización, en la fabricación de los instrumentos y en el control de calidad. Además, apuntó la hipótesis de que el incendio se había desarrollado cerca de la litera de Grissom, probablemente a causa de un cable eléctrico defectuoso. Debajo de la litera había un haz de cables cerca de una pequeña puerta que daba al depósito de desechos.

«Cerrando y abriendo la puerta –ésta era la reconstrucción de la comisión–, los bordes inferiores podrían haber desgastado los cables a causa del roce, ya que su aislante de teflón no estaba protegido.»

El aislante, carente de protección, podría haberse roto y, a partir de un cable desnudo, se habrían producido las primeras chispas.

Una vez prendido el fuego, se propagó por la cabina, de izquierda a derecha, a una temperatura muy alta, tanto por la atmósfera de oxígeno puro como por la presencia de materiales combustibles. Una simple red de nilón fue una de las causas que llevaron la muerte a los tres astronautas. Había sido extendida debajo de las literas para evitar que cayeran objetos en la zona de los instrumentos durante la prueba. La red –lo constató la comisión– fue lo primero que se incendió. Briznas de nilón fundido salpicaron otras partes de la cabina e incendiaron otros materiales plásticos.

En circunstancias normales habrían resistido bien a la combustión, pero la presencia del oxígeno puro hizo que prendieran las llamas. Las juntas soldadas de los conductos del oxígeno empezaron a fundirse y las fugas de este gas alimentaron todavía más el incendio.

Según la conclusión a la que llegó la comisión, los astronautas murieron cuando la temperatura hizo subir la presión de la cabina a más de dos veces el valor preestablecido. Entonces, la cabina se hizo pedazos.

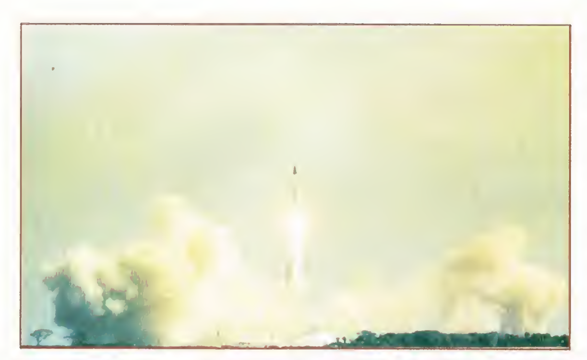
Cuando ya no pudo ser alimentado por el oxígeno puro, el fuego empezó a ceder. Pero una densa nube de humo negro y de hollín entró en el aparato respiratorio de los astronautas matándolos por asfixia de óxido de carbono. En sí mismas, las quemaduras no eran mortales de necesidad.

Todo esto condujo a una conclusión trágica: para los hombres de la Apollo no había escapatoria posible, simplemente porque las condiciones de seguridad no se afrontaron con rigor. Los elementos que presentaban aspectos negativos eran los siguientes:

- la cabina cerrada desde el exterior;
- la presurización de la cápsula con oxígeno puro;
- la excesiva distribución de materiales combustibles en el habitáculo;
- los cables eléctricos sumamente vulnerables;
- las tuberías con refrigerantes, susceptibles de eventuales fugas;
- las inadecuadas salidas de urgencia;
- los inadecuados medios de socorro.

LA HORA NEGRA DE LA UNIÓN SOVIÉTICA

La cápsula Soyuz, largamente esperada, fue presentada al mundo el 23 de abril de 1967. Después de varios vuelos de prueba sin tripulación, fue lanzada desde Tiuratam llevando a bordo al coronel Vladimir Komarov, un veterano de la Vosjod-1, el primer cosmonauta que era lanzado por segunda vez al espacio.



El lanzamiento de un cohete no sólo es peligroso para la tripulación, sino también para todos los que se encuentren en un radio de varios kilómetros. Por este motivo, quienes asisten a la partida de un lanzador son mantenidos a una distancia de seguridad de al menos 5 km.

Las primeras noticias sobre el vuelo, facilitadas por la Tass, la agencia de prensa soviética, fueron escuetas pero precisas.

En la quinta órbita, la agencia Tass dijo simplemente que el vuelo «proseguía según los planes previstos». Como no se daba ninguna descripción del vehículo o de su misión, en Occidente sólo podían hacerse conjeturas.

Según las hipótesis más difundidas, a la Soyuz-1 se uniría, al cabo de un día o dos, una segunda Soyuz para efectuar maniobras de aproximación y acoplamiento: la palabra Soyuz significa, precisamente, «unión».

La hipótesis coincidía también con unos proyectos de los cuales la Unión Soviética no había hecho un misterio: poner en órbita grandes estaciones espaciales que requerían experiencia en maniobras de aproximación y de acoplamiento en órbita.

Pero el segundo día no se produjo lanzamiento alguno. Quizá falló algo durante la cuenta atrás de la segunda nave soviética, si es que alguna vez existió.

En la mañana del 24, la Tass dijo que Komarov gozaba de buena salud y que a bordo de la Soyuz todo funcionaba normalmente. Luego, de manera totalmente inesperada, Komarov inició su retorno a la Tierra después de haber efectuado diecisiete órbitas.

En un periódico de Estados Unidos se publicó un artículo de un periodista que se encontraba en el Centro Espacial de Tiuratam en los últimos minutos del vuelo de la Soyuz-1: «"Muy bien", afirmó el controlador en tierra cuando oyó que el sistema de los retrocohetes había funcionado a la perfección después del posicionamiento de la Soyuz-1 para la reentrada. "Todo va muy bien", replicó la débil voz de Komarov, que se encontraba en algún punto sobre África. Parecía que intentaba convencerse de ello. Su voz no se oyó más. Pasaron unos minutos que parecieron una eternidad».

Komarov había muerto. Era la primera pérdida humana en un vuelo de la era espacial. Según noticias soviéticas, cuando la Soyuz entró en la atmósfera, las cuerdas del paracaídas, irreversiblemente enredadas, impidieron la disminución de velocidad y la cápsula se estrelló contra el suelo.

La Tass declaró que la astronave se había comportado normalmente en órbita y que era frenada con regularidad por los retrocohetes.

Muchos soviéticos rompieron a llorar cuando se dio la noticia en la radio. La tragedia representaba un doloroso golpe para un pueblo que había puesto en aquel vuelo las esperanzas de recuperar la supremacía del espacio. Se había hablado de una serie completa de misiones de la Soyuz durante el verano, pero, ahora que Komarov había muerto, la Soyuz, lo mismo que la Apollo, debía volver a la mesa de diseño. Se ordenó una investigación sobre el grave incidente, pero también sobre todos los momentos del vuelo.

Esto podía significar que la Soyuz-1 había tropezado con diversos inconvenientes: incluso se llegó a suponer que la astronave estuvo fuera de control ya durante el orbitaje.

Charles S. Sheldon, jefe provisional de la división de ciencia y política de la Biblioteca del Congreso, observó, en un informe preparado por el Comité Parlamentario para la Ciencia y la Astronáutica, que si el descenso de Komarov hubiera sido programado, el cosmonauta lo habría iniciado en la decimosexta o decimoséptima órbita, cuando debería encontrarse en la habitual área de recuperación.

En cambio, perdió altura al comienzo de la decimoctava vuelta, lo que hace suponer, continuó Sheldon, que Komarov habría decidido la reentrada antes de lo que se había programado, a causa de inconvenientes no bien definidos que habrían impedido no sólo el lanzamiento de una segunda Soyuz, sino también una reentrada de la primera según los planes de vuelo establecidos. Sin embargo, los soviéticos insistieron en que la Soyuz había completado su misión y que no había ocurrido ninguna complicación, aparte del mal funcionamiento del paracaídas. De todos modos, los soviéticos, estupefactos y desilusionados, se mostraron todavía más reticentes en sus siguientes programas espaciales.



A la derecha, la Soyuz-19. El coronel Vladimir Komarov murió en la Soyuz-1 al impactar contra la superficie de la Tierra a 900 km/h. Sus restos fueron enterrados dentro de los muros del Kremlin.

CONOCER EL TIEMPO CON LOS SATÉLITES METEOSAT

Aunque las imágenes del tiempo proporcionadas por el Meteosat aparecen todos los días en las televisiones europeas, la mayoría de nosotros no nos damos cuenta de hasta qué punto dependemos de las previsiones meteorológicas precisas. Solamente en términos de ahorro de recursos, la contribución de la meteorología europea es considerable.



La importancia de la meteorología en muchos campos de la actividad humana hizo comprender rápidamente a Europa que, para las previsiones del tiempo, no era posible depender de otros países. Así, uno de los primeros empeños de la Agencia Espacial Europea fue precisamente lanzar satélites meteorológicos.

El primero de la serie fue puesto en órbita en noviembre de 1977. Se trataba del Meteosat-1, seguido del Meteosat-2 en junio de 1981. El Meteosat-3 fue llevado al espacio en junio de 1988; en marzo de 1989 le tocó el turno al Meteosat-4, llamado también MOP-1; en marzo de 1991 partió el Meteosat-5 o MOP-2 y, en noviembre de 1993, el Meteosat-6 o MOP-3. Actualmente, tres de ellos todavía están en activo: el MOP-1, el MOP-2 y el MOP-3, que giran alrededor de la Tierra a 36.000 km de altura en órbita geoestacionaria.

LA ESTRUCTURA DEL METEOSAT

Los satélites Meteosat están constituidos por un cuerpo cilíndrico al que van montados seis paneles solares y un sistema de comunicaciones.

El radiómetro, el instrumento que genera las imágenes, está en el cilindro junto con la mayor parte de los circuitos eléctricos y los depósitos de combustible, de forma esférica, para los propulsores, necesarios para efectuar maniobras de posicionado.

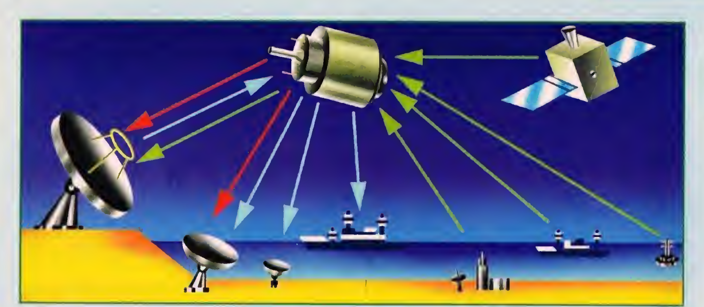
El radiómetro es un telescopio de una longitud focal de 3,65 m y está equipado con detectores electrónicos en el plano focal para medir la radiación de la Tierra en tres bandas espectrales: de 0,5 a 0,9 micrómetros (banda del visible), de 5,7 a 7,1 micrómetros (banda de absorción del vapor de agua en el infrarrojo) y de 10,5 a 12,5 micrómetros (banda del infrarrojo). El poder de resolución del radiómetro es de 5 km en el infrarrojo y de 2,5 km en el visible.

El sistema de telecomunicaciones está dotado de amplificadores de potencia y de antenas para recibir imágenes de la Tierra ya procesadas y otros datos meteorológicos procedentes de la estación de Odenwald, para retransmitirlos a más de 2.000 estaciones-usuario de recepción de todo el mundo.



A la izquierda, el Meteosat-1 rodeado de los adecuados escudos térmicos. En el cilindro dorado se encuentra el llamado «motor de apogeo», gracias al cual el satélite se coloca en órbita geoestacionaria.

El Meteosat es muy diferente de la mayor parte de los otros satélites en órbita geoestacionaria que normalmente tienen a su cargo asegurar servicios y telecomunicaciones. Como ya se ha dicho, la estructura principal del Meteosat consiste en un gran cilindro que alberga un telescopio especial, el radiómetro. El revestimiento del cilindro, de brillante



En el dibujo de la izquierda se ha representado el mecanismo de recogida y emisión de los datos procedentes del satélite Meteosat. Las flechas rojas indican las imágenes todavía no procesadas; las flechas azules, las corregidas y tratadas; las flechas verdes, los datos obtenidos localmente.

color azul oscuro, está constituido por células solares, mientras que dos pequeños cilindros situados arriba albergan el sistema de comunicaciones y las antenas especiales.

Al contrario que la mayor parte de los satélites, el Meteosat gira sobre sí mismo (a 100 r.p.m.) para estabilizar su posición. Al mismo tiempo, el movimiento rotativo permite que el radiómetro, que antes del lanzamiento está protegido con una cubierta, explore la Tierra en una sucesión de franjas de este a oeste.

A medida que se efectúa el rastreo desde el polo Sur hasta el polo Norte, cada 30 minutos se dispone de una nueva imagen de 5.000 líneas del disco terrestre.

El Meteosat tiene una misión triple: en primer lugar, su radiómetro produce imágenes precisas de la Tierra en tres bandas espectrales cada 30 minutos; en segundo lugar, recoge datos ambientales y meteorológicos de unas 1.000 estaciones de medida (en buques, aviones y boyas) y las transmite a una estación central; finalmente, distribuye directamente imágenes y datos procesados a varios miles de estaciones-usuario de más de 130 países.

El centro de control de la misión Meteosat funciona las 24 horas del día.

Aunque se ha programado un potente ordenador para que ejecute los procesos de rutina para el control del satélite y el tratamiento de las imágenes, la presencia de ingenieros, técnicos y meteorólogos altamente cualificados es indispensable para el buen funcionamiento del sistema Meteosat.

EL CENTRO DE CONTROL METEOSAT

El centro de control de la ESA, el ESOC (European Space Operations Center), responsable del control de más de 10 satélites, está en Darmstadt (Alemania), a 25 km al sur de Frankfurt.

Dos antenas, una de 13,5 m de diámetro y otra de 15 m que se levanta cerca de Michelstadt (Alemania), aseguran un enlace ininterrumpido entre el Meteosat y su sala de control.

La antena de 15 m recibe las imágenes «en bruto» del satélite, que se transmiten a Darmstadt a través de un enlace terrestre, donde son tratadas para la obtención de datos meteorológicos significativos.

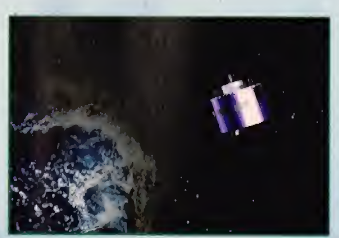


Esta estación de satélites puede recibir las imágenes Meteosat con las indicaciones cartográficas de las partes de la Tierra rastreadas. Éstas, junto con los datos meteorológicos propiamente dichos, permiten el procesado que conduce a las previsiones meteorológicas diarias.

A través de la estación en el suelo de Odenwald, las imágenes y los datos producidos se retransmiten a su vez al Meteosat para su distribución a más de 2.000 estaciones-usuario de todo el mundo. La antena de 13,5 m de diámetro sirve para los satélites Meteosat de reserva que hay en órbita.

CÓMO SE CONVIERTEN EN PREVISIONES LAS IMÁGENES DEL METEOSAT

Aunque las imágenes del Meteosat se reciben en miles de estaciones, los usuarios primarios son los servicios meteorológicos de los estados miembros de la EUMETSAT, la organización europea para los satélites meteorológicos, de la que forman parte numerosos países de Europa y de muchos otros lugares del mundo. Los datos del Meteosat tienen un papel central en las previsiones del tiempo y han contribuido notablemente a mejorar esta actividad en los diez últimos años.



Los satélites en órbita y las instalaciones en tierra constituyen los dos componentes principales del sistema Meteosat. Los satélites operativos están situados a 0 grados de longitud y a 36.000 km de altitud sobre la superficie terrestre. A menudo sólo está activo el satélite principal; los demás son de reserva y están situados cerca en estado de hibernación. En casos excepcionales, los satélites se pueden trasladar a cualquier punto situado sobre el ecuador.



Las imágenes de la Tierra, tanto a escala global como a escala reducida, tomadas por satélites Meteosat son bastante habituales en las televisiones de toda Europa. Muy a menudo, las oficinas meteorológicas nacionales proporcionan a las cadenas de televisión secuencias animadas de las imágenes del Meteosat, procesadas específicamente para obtener una visión del tiempo lo más realista posible.

Hace treinta años, las previsiones meteorológicas se limitaban a 24 horas y a regiones de unos pocos centenares de kilómetros de extensión. Los meteorólogos utilizaban mapas barométricos y otras medidas para plantear una «hipótesis fundada», basada en la aproximación lineal, el conocimiento de los procesos atmosféricos y la experiencia.

Sólo con el advenimiento de ordenadores potentes a principios de los años setenta, fue posible extender las previsiones a 72 horas o más y ampliar las zonas geográficas. Hoy, con los modelos numéricos de previsión del tiempo, los meteorólogos han rodeado la superficie de la Tierra y la atmósfera de una estrecha red tridimensional.

Las más de 100.000 detecciones diarias tomadas en 21.000 lugares constituyen la base para procesados numéricos hechos con la ayuda de los ordenadores más potentes del mundo. Pero estas previsiones requieren un posterior perfeccionamiento por parte de los meteorólogos, operación para la cual los datos del Meteosat son indispensables, porque proporcionan imágenes en tiempo real de la situación meteorológica y, en particular, el mapa de las zonas de alta y baja presión.

Sin estas operaciones de perfeccionamiento, la precisión de las previsiones a corto y a largo plazo estaría por debajo del nivel actual.

En general, las previsiones meteorológicas generadas por ordenador se producen a intervalos de 12 horas, pero la capacidad del Meteosat para seguir la evolución del tiempo en tiempo real permite a los meteorólogos hacer previsiones muy precisas a corto plazo y a nivel regional. Por ejemplo, el movimiento de un frente tormentoso que lleve lluvia o el desarrollo de masas nubosas sobre una determinada región pueden preverse con un alto grado de seguridad para las 3-6 horas siguientes. Una reciente investigación de los servicios meteorológicos ha confirmado que, en los diez últimos años, el 21% de incremento que se ha producido en la disponibilidad de las previsiones a seis horas se ha obtenido gracias a las imágenes del Meteosat.

Así, con el aumento de la necesidad y de la disponibilidad de las previsiones del tiempo más precisas y frecuentes, han nacido numerosos servicios de previsión especializados que hacen un notable uso del Meteosat.

Los programas del futuro de la EUMETSAT prevén la continuación del actual sistema Meteosat hasta finales del 2000, cuando irá seguido de una nueva generación de satélites que se utilizarán hasta el 2012. Además, hay en curso trabajos para la construcción de «plataformas polares».

LOS METEOSAT DE SEGUNDA GENERACIÓN

Los Meteosat de segunda generación no se apartan mucho de los primeros; su principal innovación es un nuevo radiómetro que podrá producir imágenes cada 15 minutos en 12 bandas espectrales. Estos satélites serán muy adecuados para prever fenómenos meteorológicos que se forman en poco tiempo, como temporales, nieblas o depresiones imprevistas que puedan causar tormentas desastrosas. El primero de estos satélites deberá lanzarse en el año 2000.

LA PLATAFORMA POLAR

Mientras que los satélites geoestacionarios permiten obtener una visión continua del disco terrestre desde una posición fija en el espacio, los satélites que giran en órbitas polares dan un cuadro de la Tierra menos habitual, porque vuelan más bajos que los otros. Sin embargo, los satélites polares pueden ofrecer más detalles y rastrear todo el espesor de la atmósfera.

Ahora bien, como ciertas regiones de la Tierra no están cubiertas por satélites geoestacionarios, por ejemplo gran parte del océano Pacífico, el empleo de satélites polares resulta de gran importancia e interés.

La EUMETSAT está diseñando parte de un sistema de satélite polar en colaboración con Estados Unidos. El primer satélite de la serie, que se llamará METOP-1, irá seguido de otros que serán de gran utilidad en las previsiones meteorológicas a partir de la segunda década del siglo XXI.



El centro de control del Meteosat funciona las 24 horas del día. Aunque se ha programado un potente ordenador para procesar las informaciones de rutina del Meteosat, la presencia de los ingenieros, de los técnicos y de los meteorólogos resulta imprescindible. El centro de control de la ESA está en Darmstadt (Alemania), a 25 km al sur de Frankfurt.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

DISTANCIA DE LA LUNA Y LOS PLANETAS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LAS VARIABLES CATACLÍSMICAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

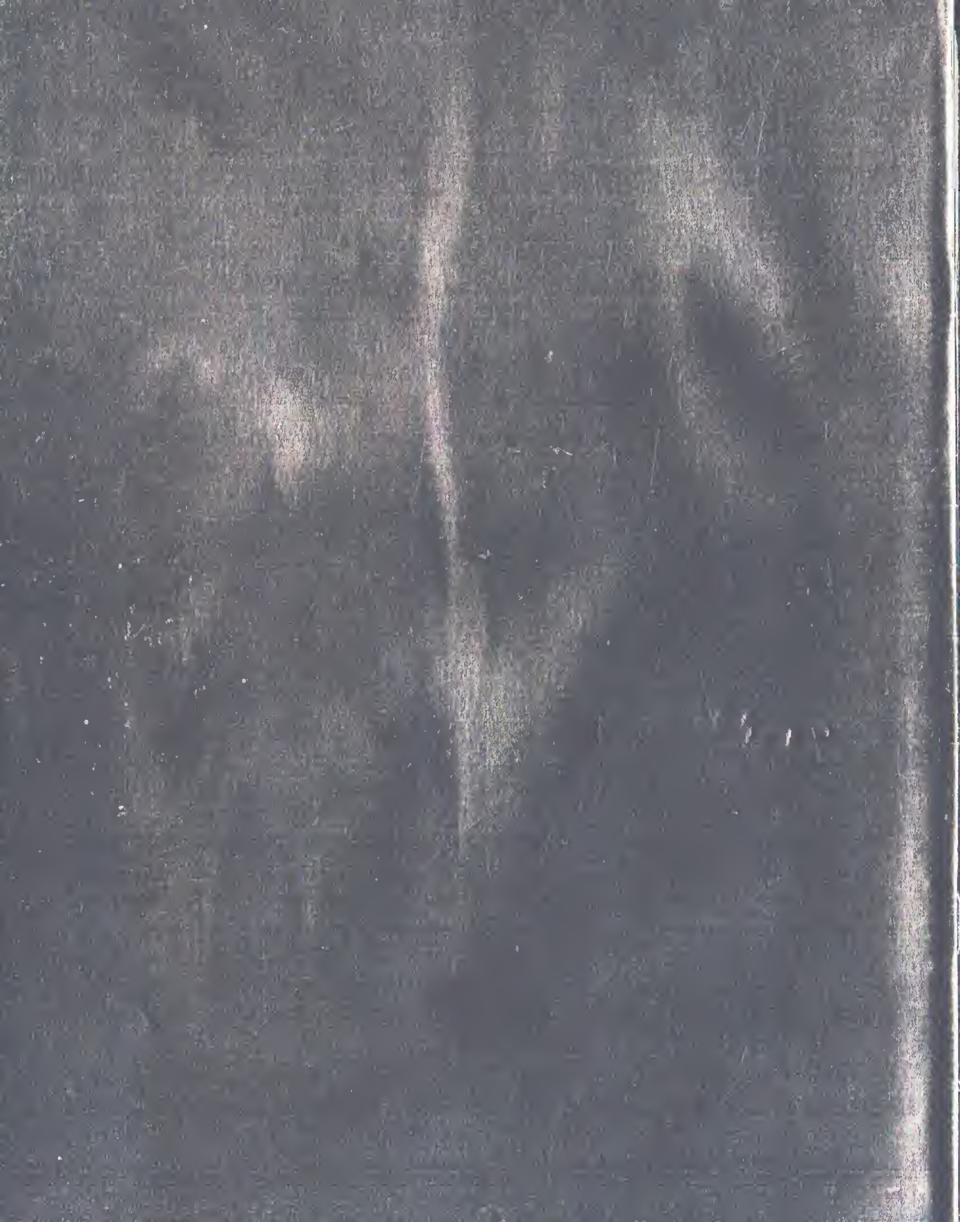
EL LINCE

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

EL LÍMITE DE ROCHE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

CENTROS ASTRONÓMICOS



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

54



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

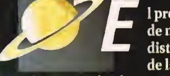
ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

DISTANCIA DE LA LUNA Y LOS PLANETAS

El problema de medir la distancia a la que se encuentran la Luna, el Sol y los planetas estuvo en la base del nacimiento de la astronomía en la Antigüedad, así como de la aplicación de las matemáticas al universo entonces conocido.

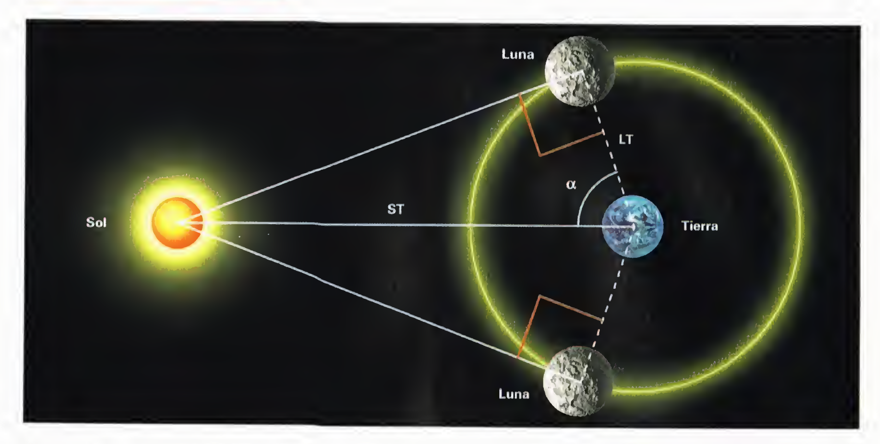


El problema de medir la distancia de la Tierra a la Luna y al Sol ha estimulado constantemente la fantasía del hombre desde la Antigüedad. ¿Cuál es el tamaño del universo comparado con el de la Tierra? Esta pregunta, hoy, podría parecer ridícula, pues sabemos que las distancias en juego en el universo no pueden medirse tomando como término de comparación el radio de la Tierra o incluso la distancia Tierra-Sol. El tamaño del universo hoy explorado es de una magnitud mucho mayor. Pero, en el pasado, el universo conocido estaba formado por las estrellas fijas y por la porción del sistema solar constituida por los planetas perceptibles a simple vista.

LA MEDIDA DE LAS DISTANCIAS Y LA CONCEPCIÓN DEL MUNDO

Se puede afirmar que la estimación de las distancias de los cuerpos celestes obligó al hombre a aplicar las leyes de la

La Luna (en la imagen a toda página) fue sin duda el cuerpo celeste que más atrajo la atención de los antiguos. Desde los albores de la astronomía, los hombres han sabido que nuestro satélite era el cuerpo celeste más cercano a nosotros.



Cuando está en cuarto creciente y en cuarto menguante, la Luna tiene por vértice un ángulo recto. Por ello, se puede calcular la distancia Tierra-Luna conociendo la distancia Tierra-Sol y midiendo el ángulo entre la Luna y el Sol.

matemática y la geometría al universo, pero al universo tal como se concebía en aquel tiempo. Por ello, el estudio de los métodos usados por los antiguos para calcular las distancias de los cuerpos celestes nos permite averiguar también cuál fue su concepción del mundo. Que la escuela pitagórica empezara a desarrollar la idea de que la Tierra era esférica y no plana fue de gran importancia para la medida de las distancias y los tamaños de los cuerpos celestes. Los eclipses se explicaban como debidos al paso de la Luna dentro del cono de sombra proyectado en el cielo por un cuerpo esférico, la Tierra. Del mismo modo, las fases lunares se justificaban por el hecho de que la Luna, esférica, era vista desde la Tierra como diversamente iluminada por la luz del Sol.

LA PRIMERA MEDIDA: ARISTARCO DE SAMOS Y LAS FASES LUNARES

Estas concepciones del mundo están en la base de la primera determinación de la distancia Tierra-Luna, realizada por Aristarco de Samos (310-230 a.C.). Este autor se sirvió de las fases lunares. Aristarco se había dado cuenta de que cuando la Luna se encuentra en la fase de cuarto creciente o de cuarto menguante, el triángulo formado por el Sol, la Luna y la Tierra presenta un ángulo recto en el vértice ocupado por la Luna. Suponiendo conocida la distancia de la Tierra al Sol (ST) y midiendo el ángulo bajo el cual se ve desde la Tierra la distancia entre el Sol y la Luna, que llamaremos ángulo α, es posible determinar la distancia de la Luna a la Tierra (LT) mediante la simple relación trigonométrica que introduce el coseno de α: $LT = ST \cos \alpha$. Todos los elementos de un triángulo cualquiera están plenamente determinados cuando se conocen tres de ellos, por ejemplo dos ángulos y un lado. En nuestro caso, el lado está representado por la distancia Tierra-Sol. Uno de los ángulos

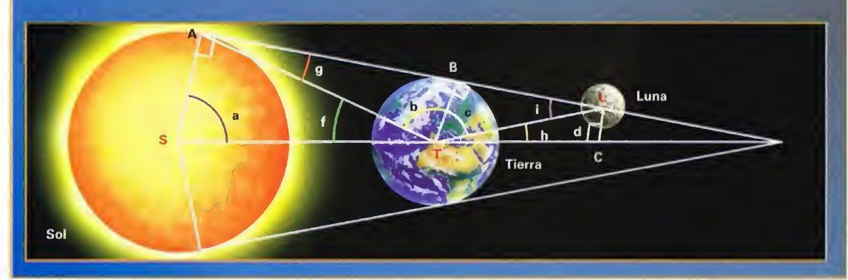
La distancia de la Tierra a la Luna se puede determinar observando un eclipse lunar.





LOS ECLIPSES LUNARES Y LA DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA TIERRA-LUNA

La determinación de la distancia de la Tierra a la Luna por el método de los eclipses lunares se puede describir del modo que sigue. Consideremos el disco solar, el de la Tierra y el más pequeño de la Luna. Un hipotético observador que se encuentre en el centro de la Tierra verá el radio del Sol bajo un ángulo f. Este ángulo se puede determinar fácilmente, pues es la mitad del ángulo que el disco solar subtiende en el cielo. De la figura se deduce la validez de la relación matemática f + h = g + i. Veamos por qué. Recordemos que un triángulo se suele indicar con las letras que corresponden a sus vértices. Se puede demostrar fácilmente que la relación anterior deriva de las siguientes consideraciones: los triángulos SAT, ABT, BTL y TCL son triángulos rectángulos y la suma de los ángulos de un triángulo es igual a 180 grados.
Por tanto, tiene que valer la relación:
a + f = b + g = c + i = d + h = 90 grados.
Además, la suma de los ángulos f, b, c y h es igual a 180 grados. Pero 180 grados también es igual a la suma de (c + i) y (b + g).
Se obtiene entonces:
f + b + c + h = 180 grados = c + i + b + g.
Eliminando de ambos miembros de la ecuación b y c se llega a la relación buscada:
f + h = g + i.
Se puede afirmar ahora que el ángulo g es en realidad muy pequeño, casi igual a cero, porque la distancia entre el Sol y la Tierra es mucho mayor que la distancia de la Tierra a la Luna.
Por tanto, se puede escribir que el ángulo i es simplemente igual a la suma de f y h:
i = f + h.
Como ya se ha dicho, el ángulo f es fácilmente determinable a partir de la amplitud angular del disco solar. El ángulo h se determina a partir del eclipse de Luna, ya que es el ángulo bajo el cual se ve desde la Tierra el radio de la sombra que nuestro planeta proyecta sobre el disco lunar. Para poder medir la distancia Tierra-Luna, es necesario determinar este ángulo a partir de las observaciones del eclipse. Una vez conocidos f y h se calcula el ángulo i sobre la base de la relación precedente.
El ángulo i, en realidad, no es otra cosa que el ángulo bajo el cual un hipotético observador situado en el centro de la Luna vería el radio de la Tierra. Por tanto, conociendo el radio terrestre (segmento BT, en la figura), se puede calcular la distancia Tierra-Luna (LT) dividiendo el radio terrestre por el seno trigonométrico del ángulo i:
LT = BT/sen i.



es el de 90°, que tiene como vértice la Luna cuando se encuentra en cuarto creciente o cuarto menguante. El segundo ángulo es α, que medimos desde la Tierra entre las posiciones del Sol y la Luna. Así podemos determinar otro de los lados, la distancia de la Tierra a la Luna. Si no conociéramos la distancia de la Tierra al Sol, podríamos determinar, de todos modos, el cociente entre la distancia Tierra-Luna y la distancia Tierra-Sol.

LOS ECLIPSES DE LUNA

Los antiguos determinaron la distancia a la Luna a través de la observación de otro fenómeno celeste, el de los eclipses de Luna. Los eclipses no sólo permiten obtener información acerca de las distancias relativas entre los tres cuerpos celestes involucrados. También informan sobre su tamaño en relación con el de la Tierra. Durante un eclipse, la Luna va entrando progresivamente en el cono de sombra que la Tierra proyecta tras de sí. Se puede estimar, pues, la amplitud de la sombra a la distancia de la Luna y compararla con nuestro satélite. Conociendo la amplitud de la sombra que la Tierra proyecta, se puede calcular la distancia de la Luna: cuanto mayor sea la sombra de la Tierra a la distancia en que se encuentre la Luna, más cerca de la Tierra estará la Luna.

OTROS MÉTODOS

La distancia Tierra-Luna también es determinable con otro método basado en la medida simultánea de la dirección a lo largo de la cual se observa la Luna desde dos puntos distintos de la superficie terrestre. Conociendo las posiciones de los puntos de observación sobre la Tierra, se puede calcular la distancia de la Luna a partir del valor del radio terrestre (6.378 km).

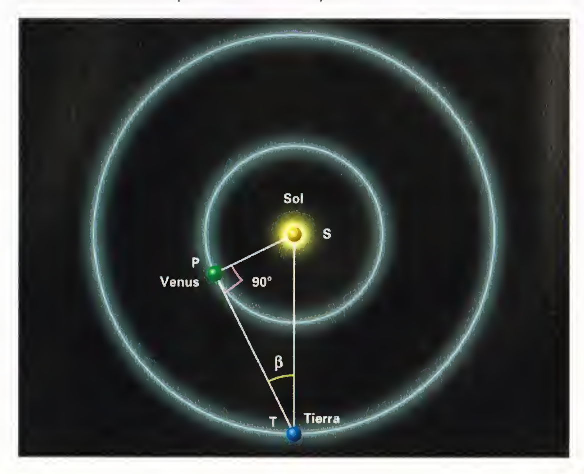
En conclusión, la distancia a la Luna es perfectamente determinable a partir de observaciones relativamente simples, como las de los eclipses, con la ayuda de consideraciones de tipo geométrico.

***La manera más natural de calcular la distancia de un objeto de tamaño conocido consiste en determinar su extensión angular. La distancia del cuerpo celeste vendrá dada por el cociente entre la dimensión lineal l y el diámetro angular* θ.**

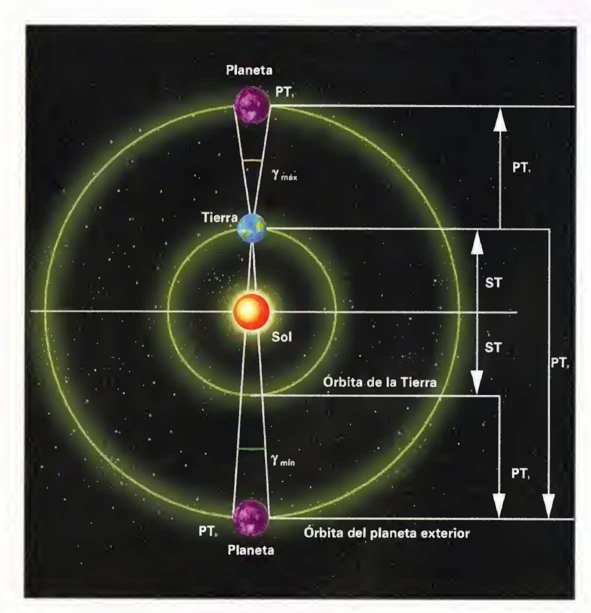
Con el tiempo, las medidas de la distancia a la Luna han sido cada vez más numerosas y precisas. Después de Aristarco de Samos, esta distancia fue medida con distintos métodos por Hiparco, Tolomeo, Copérnico y Cassini. Copérnico, y más tarde Cassini, se interesaron no sólo por la distancia Tierra-Luna, sino también por la de los planetas del sistema solar.

LA DISTANCIA A LOS PLANETAS INTERIORES

La distancia a los planetas interiores del sistema solar, esto es, aquellos cuya órbita alrededor del Sol está contenida dentro de la órbita terrestre, es determinable partiendo de la constatación de que parecen moverse en el cielo dentro de una región restringida centrada en el Sol. Precisamente porque su órbita es interna, nunca se separan más de un cierto ángulo del Sol, un ángulo llamado «elongación máxima». La distancia del planeta al Sol se puede calcular basándose en que, cuando desde la Tierra se observa la elongación máxima, el triángulo formado por el Sol, la Tierra y el planeta interior es rectángulo en el vértice correspondiente al planeta.



Para un planeta interior, como Venus, la distancia al Sol se puede calcular observando desde la Tierra el ángulo de máxima elongación* (β)*. Por otra parte, el ángulo TPS es igual a 90°. Conociendo la distancia Tierra-Sol, se dispone de todos los elementos para calcular la distancia del planeta al Sol o a la Tierra.



La distancia al Sol de los planetas exteriores se puede calcular a partir del cociente entre los diámetros angulares de los planetas vistos desde la Tierra en dos momentos distintos del año: cuando el planeta está más próximo a la Tierra y cuando está más alejado.

Lo dicho es especialmente importante porque permite calcular la distancia del planeta al Sol (SP), una vez más a través de una relación trigonométrica, midiendo el ángulo de elongación máxima (β) y conociendo la distancia Tierra-Sol (ST): SP = ST sen β.

LA DISTANCIA A LOS PLANETAS EXTERIORES

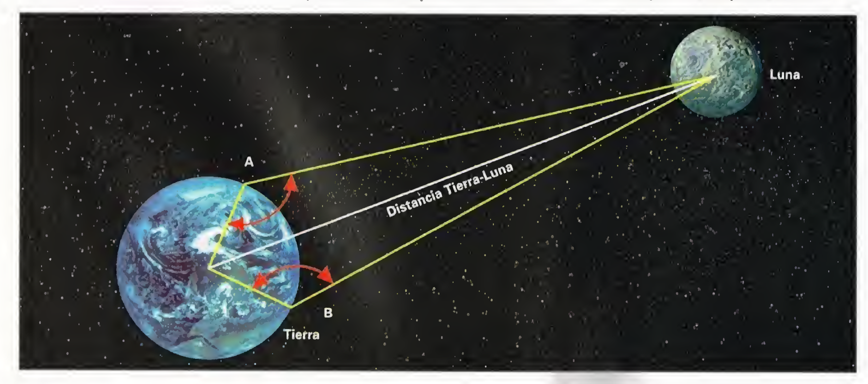
La determinación de la distancia a los planetas que orbitan fuera de la órbita terrestre no puede basarse en el método anterior. Para medir la distancia a un planeta exterior se puede observar cómo varía el ángulo bajo el cual se ve el disco del planeta desde la Tierra. El ángulo será máximo ($\gamma_{máx}$) cuando el planeta esté a la menor distancia posible de la Tierra (PT_1), porque veremos más grande el disco del planeta, mientras que será mínimo ($\gamma_{mín}$) cuando se encuentre a la mayor distancia posible de nuestro planeta (PT_2).

El cociente entre los valores de estos dos ángulos medidos desde la Tierra es proporcional al cociente entre las dos distancias del planeta a la Tierra en dos momentos del año (PT_1 y PT_2).

Así se puede obtener una estimación de la distancia del planeta al Sol conociendo la distancia de la Tierra al Sol.

Al margen de esta determinación, se debe tener en cuenta que la distancia de un planeta al Sol está gobernada por la tercera ley de Kepler sobre los movimientos planetarios, según la cual el cuadrado del período de revolución del planeta (T) alrededor del Sol es proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita (a), esto es, de la distancia del planeta al Sol. La constante de proporcionalidad depende de la masa del Sol (M_S), de la masa del planeta (M_P) y de la constante de la gravitación universal G:
$a^3/T^2 = G\,(M_S + M_P)/4\pi^2$.

Es posible calcular la distancia a la Luna observando las direcciones a lo largo de las cuales se ve el disco lunar simultáneamente desde dos puntos de la superficie terrestre.



LAS VARIABLES CATACLÍSMICAS

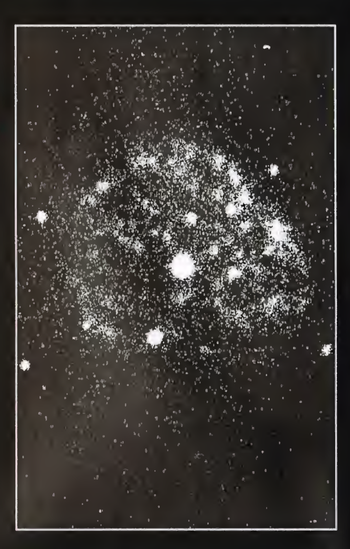
Cuando dos estrellas están muy próximas, intercambian material e incrementan rápidamente su luminosidad decenas de miles de veces. A esta categoría pertenecen también las novas.



«La noche del 15 de diciembre de 1855 observé un objeto que brillaba con luz azul como una estrella de novena magnitud. No había visto nunca el objeto en los cinco años que había estado observando esta zona del cielo... Evidentemente, se trataba de una estrella variable de tipo especial.» Con estas palabras, el astrónomo inglés J.R. Hind publicó en el siglo pasado el descubrimiento de una nova en la prestigiosa revista de la Sociedad Astronómica Real.

COMPOSICIÓN

Las variables cataclísmicas son estrellas binarias formadas por una enana blanca y una estrella de la secuencia principal, como el Sol, o de postsecuencia, como una gigante roja. Como es sabido, las enanas blancas son estrellas colapsadas, nuclearmente inertes, que representan el estadio terminal de una estrella de unas pocas masas solares. Las dos estrellas del sistema binario siguen órbitas muy estrechas con períodos característicos de pocas horas. Su separación orbital, por tanto, es reducida, lo cual las lleva a interactuar y a provocar algunos de los fenómenos más espectaculares del cielo.



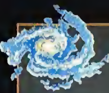
A la derecha, la nube que se formó alrededor de la nova Persei 1901. La foto fue tomada ochenta años después de la explosión con el telescopio de 1,8 m del observatorio de Asiago. El tamaño deducido para la nebulosa es de unas 25.000 unidades astronómicas, 25.000 veces la distancia entre el Sol y la Tierra.

LAS VARIABLES CATACLÍSMICAS COMO FUENTES X

En muchos aspectos, los fenómenos que tienen lugar en las variables cataclísmicas son similares a los que se producen en las binarias X. Como en éstas, la estrella colapsada interactúa gravitacionalmente con su compañera y le roba gas de los estratos superficiales. Al caer hacia la enana blanca, el gas se calienta hasta temperaturas del orden de 100 millones de grados y aumenta su energía gravitacional, que se libera en forma de radiación. Como el campo gravitacional de una enana blanca es menor que el de una estrella de neutrones, la energía que el gas adquiere en el proceso de acreción es menor y por tanto también lo son la energía y la intensidad de la radiación emitida. El flujo X de una variable cataclísmica típica es entre 10.000 y 100.000 veces menor que

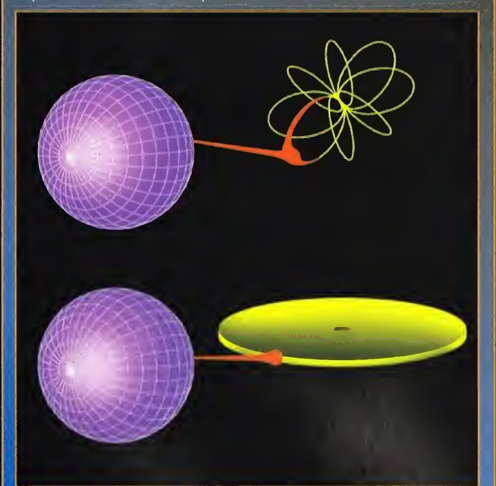


Una de las novas más estudiadas en los últimos años es la nova Cygni 1992, así llamada por haberse producido en 1992 en la constelación del Cisne. La nova Cygni ha sido la más brillante de los últimos años, hasta tal punto que en la fase de máxima luminosidad pudo verse incluso sin telescopio. La imagen, tomada por el Hubble en 1994, muestra claramente la envoltura de gas en expansión provocada por una explosión termonuclear en la superficie de la enana blanca.



LAS AM HÉRCULES Y LAS DQ HÉRCULES

Ejemplos de variables cataclísmicas magnéticas son los sistemas de tipo AM Hércules (del nombre del prototipo), en los cuales la rotación de la enana blanca está sincronizada con el período orbital del sistema. Las enanas blancas de las AM Hércules, llamadas también polares, son las que poseen un campo magnético más elevado. Junto a éstas se encuentran las DQ Hércules, o polares intermedias, que se diferencian de las primeras por el hecho de que la rotación de la enana blanca no está sincronizada con la órbita. Además, su campo magnético es inferior en un factor 10. La distinta intensidad del campo magnético influye en el proceso de acreción en las proximidades de la enana blanca.



Representación esquemática del proceso de acreción en una polar (AM Hércules) y una polar intermedia (DQ Hércules). En las polares, el campo magnético más intenso de la enana blanca influye sobre el flujo de materia en acreción a distancias mayores. Por consiguiente, el disco de acreción no se forma y el gas cae directamente sobre los polos magnéticos de la enana blanca. En las polares intermedias, en cambio, el campo magnético de la enana blanca es menos intenso y no impide la formación del disco; su influencia queda limitada a las regiones más internas.

el de una binaria X brillante. Por tanto, desde el punto de vista energético, las variables cataclísmicas son como binarias X en miniatura. Las variables cataclísmicas emiten sobre todo en la región ultravioleta del espectro o en la de los rayos X de baja energía. Algunas de las primeras fuentes X estelares detectadas por el satélite Uhuru resultaron ser variables cataclísmicas. Otras muchas fueron descubiertas años más tarde a partir de observaciones realizadas por el Observatorio Einstein y el satélite alemán Rosat. Este último va provisto de instrumentos particularmente sensibles a los rayos X «blandos» (de energía inferior a 2 keV) y a la radiación ultravioleta. En particular, los astrónomos creen que buena parte de las fuentes X «superblandas» (así llamadas porque la mayor parte de la energía emitida es inferior a 0,5 keV) observadas en los últimos años pueden identificarse con algunos tipos especiales de variables cataclísmicas.

El estudio de la emisión X de las variables cataclísmicas es importante porque permite deducir las condiciones físicas en las cuales se realiza el proceso de acreción de la enana blanca. En la mayor parte de ellas, como en las binarias X, este proceso requiere la formación de un disco alrededor de la enana blanca que yace a lo largo del plano orbital del sistema binario. Se cree que la mayor parte de la emisión X procede de la zona limítrofe entre el borde más interno del disco y la superficie de la enana blanca. En algunos casos, ésta posee un campo magnético más intenso (100 millones de veces mayor que el terrestre), que controla el flujo de gas en la región más interna del disco, encauzándolo hacia los polos magnéticos. Se reproduce así un efecto análogo al «efecto faro» observado en los púlsares. Se trata de las llamadas variables cataclísmicas magnéticas.

En la banda óptica han sido observadas variables cataclísmicas desde mediados del siglo pasado gracias a las violentas variaciones de brillo que exhiben a escalas temporales distintas, señaladas por la presencia de picos en las curvas de luz. Desde este punto de vista, estos astros se parecen en ciertos aspectos a las supernovas, si bien, desde el ángulo astrofísico, se trata de objetos completamente diferentes. Estos sistemas se dividen en distintos grupos atendiendo a las características de sus curvas de luz durante la fase de variabilidad.

LAS NOVAS CLÁSICAS

Las novas clásicas se distinguen de las demás variables cataclísmicas por el hecho de no tener un carácter repetitivo. La amplitud de su curva de luz, además, es mucho más marcada que en los demás sistemas y la progresión hacia el máximo es mucho más rápida. El brillo máximo se alcanza en pocas horas, durante las cuales la nova aumenta de brillo unas 12 magnitudes por término medio, lo cual corresponde a un flujo 60.000 veces más elevado. Comparando las curvas de luz de distintas novas se observa que cuanto más lenta es la evolución hacia

LAS NOVAS COMO «FERTILIZANTES» CÓSMICOS

Las explosiones de novas provocan una expansión de las capas superficiales y de la atmósfera de la enana blanca. Junto a las supernovas (que emiten al espacio una cantidad de materia 10.000 veces mayor), las novas contribuyen notablemente a enriquecer la composición química del gas interestelar con elementos de masa intermedia (inferiores al calcio). Parte de los materiales observados en los espectros de estrellas jóvenes proceden, por tanto, de explosiones de novas ocurridas en un pasado lejano; estos materiales habrían sido capturados por la protoestrella en formación.

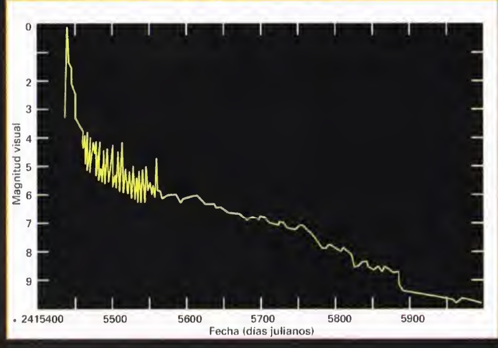
PATRONES ESTÁNDAR DE LUMINOSIDAD

Las variables cataclísmicas constituyen una categoría de objetos celestes muy variada e interesante. Los fenómenos que producen su súbito aumento de brillo están siendo estudiados por los astrónomos. En algunos casos, como el de las novas, se ha sugerido utilizar estas estrellas como patrones estándar de luminosidad para calcular distancias en el universo.

el máximo tanto menor es la variación de brillo. Por ejemplo, cuando el tiempo necesario para alcanzar el máximo es de unos días en vez de unas horas, la amplitud de la curva de luz es de «sólo» 10 magnitudes, lo cual corresponde a un factor 10.000 en términos de flujo. La nova dura un período de tiempo comprendido entre unos días y unos meses; después, su brillo empieza a menguar, primero deprisa y luego cada vez más lentamente, hasta que regresa al nivel anterior al de nova. La duración de esta fase depende de los casos, pero siempre es del orden de unos años. A veces, este declive no es constante; se observan oscilaciones de brillo más o menos acentuadas que se superponen a la forma general de la curva de luz.

De los conocimientos actuales parece desprenderse que en las novas clásicas estos fenómenos están asociados a reacciones de fusión incontroladas que se producen en las capas superficiales de la enana blanca, ricas en hidrógeno «robado» a la estrella compañera. A medida que se va produciendo la transferencia de masa de la compañera a la enana blanca, la capa de hidrógeno

En algunas novas la fase de pérdida de brillo puede atravesar períodos de reajuste, durante los cuales la luminosidad fluctúa periódicamente, aunque sin apartarse de la forma general de la curva de luz. Esto es lo que sucede, por ejemplo, en la nova Persei 1901 (abajo).



Arriba, imagen pictórica de una variable cataclísmica. La estrella compañera alimenta un flujo de gas hacia una enana blanca que gira con movimiento espiral alrededor de ella, formando el característico disco de acreción observado también en otros sistemas binarios en interacción.

tiende a comprimirse y a calentarse, alcanzando temperaturas cada vez más elevadas. Llega un punto en que la temperatura es suficiente para poner en marcha la fusión del hidrógeno en helio. Ésta tiene lugar de modo descontrolado, provocando explosiones que en la banda óptica se observan como erupciones. Para hacerse una idea de la violencia del fenómeno, basta pensar que en una típica explosión de nova se libera una energía 100 millones de veces mayor que la acumulada en todas las cabezas nucleares de los arsenales estratégicos de Estados Unidos y la Unión Soviética en el punto culminante de la guerra fría.



LAS PARALAJES NEBULARES

La manera más directa de calcular la magnitud absoluta de una nova consiste en medir su distancia con el método de las paralajes nebulares. La expansión de la atmósfera de la enana blanca puede calcularse comparando imágenes tomadas a distancia de unos dias y midiendo su radio aparente en segundos de arco.
El radio lineal en kilómetros (R) será igual al producto de la velocidad de expansión de la envoltura gaseosa (v) en km/s por el tiempo (t) transcurrido entre las dos observaciones ($R = v \cdot t$). Como la velocidad de expansión de la envoltura es deducible de las observaciones espectroscópicas (efecto Doppler), se puede calcular inmediatamente el radio lineal. Como el cociente entre el radio lineal y el radio angular de un objeto es constante e igual a su distancia, se puede determinar directamente esta última.

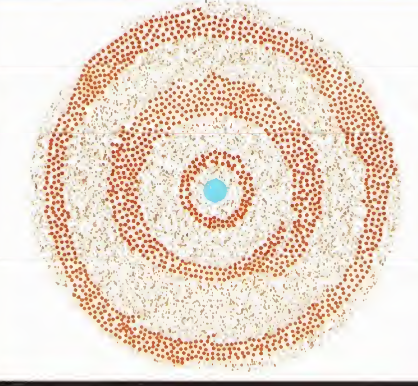
El aumento de la superficie radiante de la estrella provoca un incremento de su luminosidad. El valor máximo, indicado por el pico de la curva de luz, se alcanza en correspondencia con la expansión máxima. En particular, la variación de luminosidad de la nova es tanto más rápida cuanto mayor es la velocidad de expansión de la atmósfera de la enana blanca. Durante la fase explosiva, las novas se hacen extremadamente luminosas. La magnitud absoluta en el máximo de luminosidad es de –6 y –9, respectivamente, para las novas más lentas y más rápidas. Por consiguiente, éstas pueden observarse incluso en otras galaxias. Lo que se observa, sin embargo, es la magnitud aparente de la nova; su magnitud absoluta, en general, no es conocida *a priori* a menos que se conozca la distancia. De cualquier modo, es posible determinar con una cierta seguridad la magnitud absoluta de una nova en su máximo comparándola con novas de distancia conocida y suponiendo que la evolución sea similar. En tal caso, la magnitud absoluta en el máximo (M) viene dada por la simple relación:

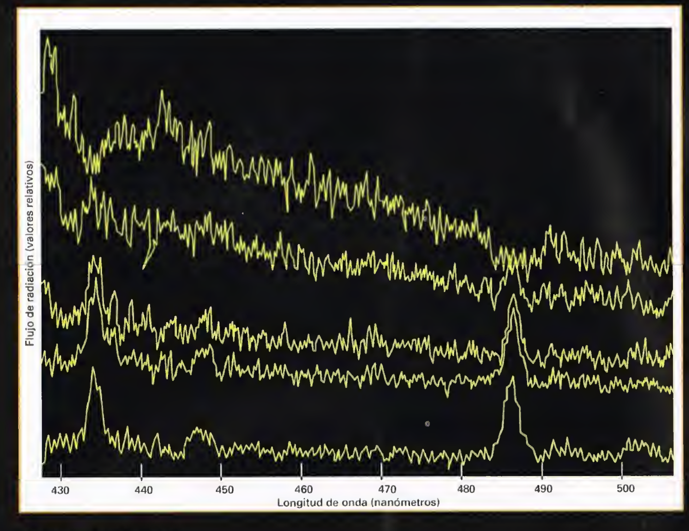
$$M = -10{,}9 + 2{,}3 \times \log t,$$

donde t es el intervalo de tiempo (medido en días) necesario para que la curva de luz de la nova disminuya en tres magnitudes.

La fase explosiva de una nova dura generalmente unos pocos días, después de lo cual la luminosidad tiende a disminuir lentamente, aunque con eventuales oscilaciones más o menos intensas.

En el dibujo de abajo se representan las distintas envolturas de una variable cataclísmica. Como la emisión de materia tiene lugar en varias fases, se forman varias envolturas que se expanden por el espacio que rodea la estrella.





A la izquierda, espectros de la nova enana (dwarf nova) *TW Virginis antes y durante un estado activo. El espectro más inferior corresponde al estado quiescente, donde son claramente visibles las rayas de emisión. A medida que la nova va entrando en el estado activo, el continuo de emisión va aumentando de intensidad, sobre todo hacia el azul, hasta el punto de «sumergir» las rayas de emisión.*

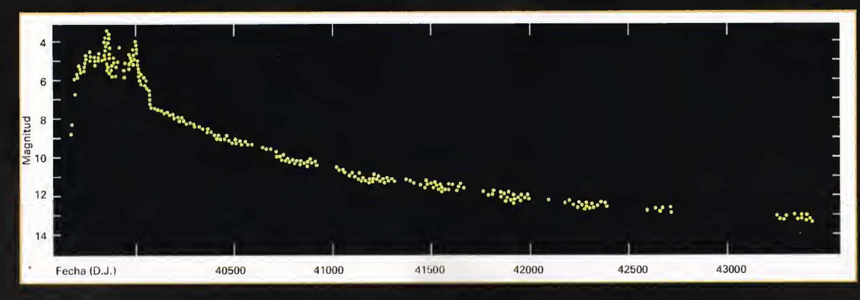
LAS NOVAS ENANAS

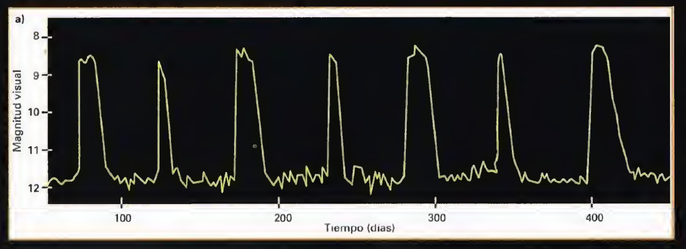
Una subclase de novas es la de las llamadas novas enanas, cuyo prototipo es U Geminorum. A primera vista, los picos ópticos de las novas de tipo U Geminorum tienen características similares a las observadas en otras novas. Sin embargo, se distinguen por sus curvas de luz de amplitud menor (cerca de 5 magnitudes) y por el hecho de repetirse a intervalos de tiempo más o menos regulares, por término medio de 120 días. Los picos ópticos se producen generalmente en pocos días o pocas horas, después de lo cual el brillo de la nova desciende en pocas semanas hasta su nivel original.

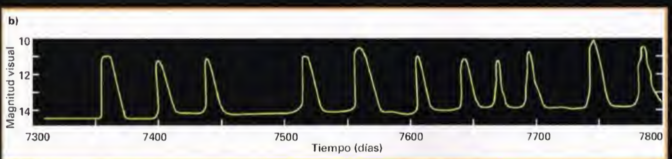
La explicación del distinto comportamiento hay que buscarla en los diversos mecanismos físicos que provocan el pico óptico. En las U Geminorum, éste es debido a una súbita variación del ritmo de acreción de materia en la enana blanca, que produce una mayor liberación de energía. Esta conclusión se basa en el comportamiento de algunas novas observadas en fase de eclipse, cuando la enana blanca y el disco que la rodea son ocultados en cada órbita por la estrella compañera. Se observa, en particular, que las disminuciones relativas de luminosidad debidas a los eclipses son más acentuadas en los estados activos que en los pasivos. Ello indica claramente que la fuente de luz dominante en las novas enanas no es la estrella compañera, sino que deriva del disco y está relacionada con el proceso de acreción.

Según algunas teorías, la variación del ritmo de acreción en una enana blanca podría ser

El ritmo de atenuación de la curva de luz de una nova clásica puede variar considerablemente. En muchos casos, la nova tarda varios años en volver a las condiciones normales de brillo. Se trata de las llamadas novas lentes, como la nova Delphini 1967.







A la izquierda (imagen a), curva de luz de la nova enana SS Aur, que muestra la evolución de su brillo durante un período de unos 500 días. Durante este intervalo de tiempo, la nova pasa varias veces de un estado quiescente, en el que aparece de decimocuarta magnitud, a un estado activo (décima magnitud). En todos los casos la variación de brillo ocurre en el transcurso de pocos días. Los picos ópticos de la curva de luz se presentan más o menos regularmente y con la misma intensidad. Una curva de luz muy similar es la de SS Cygni (imagen b). Según los modelos teóricos, variaciones del ritmo de acreción sobre la enana blanca podrían inducir las modulaciones semiperiódicas de brillo observadas en las novas enanas.

consecuencia natural de una mayor o menor pérdida de masa por parte de la compañera. Según otras, la compañera perdería masa de un modo casi constante y las variaciones del ritmo de acreción dependerían de cómo tiene lugar el proceso de transferencia del disco a la enana blanca. En particular, el disco podría acumular temporalmente la masa perdida por la estrella compañera y luego descargarla sobre la enana blanca una vez agotada su capacidad de almacenamiento. Actualmente, ésta parece ser la teoría más acreditada.

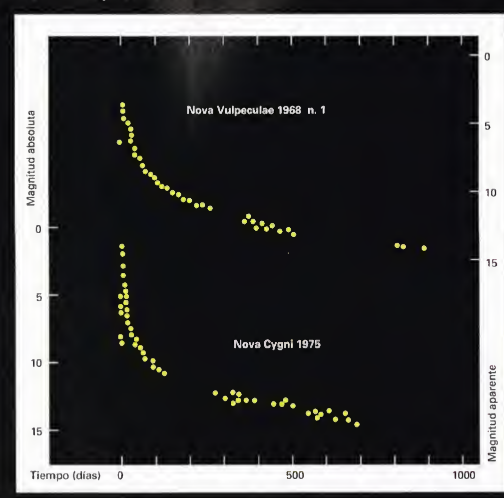
El espectro óptico de una nova enana varía considerablemente al pasar del estado quiescente al activo. En el estado quiescente, el espectro presenta un continuo de emisión a causa de la elevada temperatura del disco, al que se superponen algunas rayas de emisión (hidrógeno y helio). En particular, el continuo sería emitido en las regiones más internas (y densas) del disco, mientras que las rayas se formarían en las regiones más externas (y tenues). En algunos casos, cuando el plano orbital del sistema se ve de perfil, las rayas de emisión aparecen desdobladas por el efecto Doppler. En el estado activo, en cambio, el espectro está dominado por la emisión continua, que tiende a «cubrir» las rayas de emisión. Al término de dicho estado, la emisión continua se va atenuando progresivamente y las rayas vuelven a ser visibles en el espectro.

LAS NOVAS RECURRENTES

Además de estos sistemas, los astrónomos han identificado otros tipos de variables cataclísmicas, como las novas recurrentes.

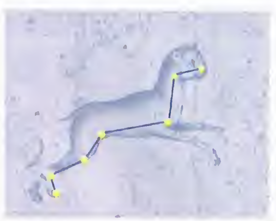
Las novas recurrentes son una especie de clase intermedia entre las novas clásicas y las enanas. Como indica su nombre, los picos ópticos se repiten y en este sentido las novas recurrentes son similares a las novas enanas, aunque con la diferencia de que el intervalo de tiempo entre un suceso y el siguiente es del orden de decenas de años. El incremento de brillo durante un pico todavía es más acentuado (unas 8 magnitudes), lo cual hace que estas estrellas sean más similares a las novas clásicas.

Abajo, curva de luz de dos novas clásicas de evolución muy rápida: la nova Vulpeculae 1968 n. 1 y la nova Cygni 1975. Los nombres se refieren a la constelación en que se localizó la nova y al año del descubrimiento.



EL LINCE

Por constar de estrellas poco brillantes, la constelación del Lince no figura entre las más conocidas del cielo boreal.



La constelación del Lince, introducida por Hevelius, nos recuerda al felino de legendaria agudeza visual.



Pese a encontrarse cerca de la Osa Mayor, la constelación del Lince es poco conocida. El motivo reside en la escasa luminosidad de los astros que la constituyen, a los que debe su nombre. La introdujo Hevelius y la llamó así porque, según él, hacían falta ojos de lince para percibirla.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Pese a la dificultad creada por la debilidad de sus estrellas constituyentes, encontrar la constelación del Lince no es difícil, pues se halla entre las constelaciones, mucho más luminosas, de la Osa Mayor y el Cochero.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Alfa (magnitud 3,1) es la más luminosa de las estrellas del Lince; se trata de un astro de luz rojoanaranjada situado a una distancia de 170 años luz.

La estrella indicada con el número 12 es triple; la componente principal es de magnitud 5,4 y posee una compañera de magnitud 6 que orbita a su alrededor en 699 años; las estrellas se pueden separar con telescopios de 8 cm de diámetro. A casi 9" se observa una tercera estrellita, de magnitud 7,3.

También la estrella 15 está formada por un trío de astros, todos fácilmente separables con pequeños instrumentos. El más luminoso (magnitud 5,6) está situado a casi 15" de una componente más débil (magnitud 6,5) y más o menos a la misma distancia (se habla siempre de distancias aparentes) que el tercer astro (magnitud 8,9).

La estrella 38 es doble, con las dos componentes (magnitudes 3,9 y 6,6) a una distancia mutua de 2,7".

En el Lince se encuentran también algunas estrellas variables. Una de ellas es RR, cuya luminosidad oscila entre las magnitudes 5,5 y 6 en poco menos de 10 días, debido a eclipses recíprocos de dos estrellas demasiado próximas para separarlas, incluso con instrumentos sofisticados a nivel profesional.

La estrella R, en cambio, pertenece al tipo de estrellas pulsantes de largo período de las que forma parte la famosa Mira Ceti. En poco más de un año (su período es de 379 días), su magnitud varía de 7,2 a 14,3. Este astro está siempre por debajo del umbral de perceptibilidad a simple vista. En el máximo de su esplendor está al alcance de unos prismáticos, pero en el mínimo hay que recurrir a instrumentos de abertura superior a 22 cm.



NGC 2419 es un cúmulo globular de la constelación del Lince cuya distancia al centro de la Galaxia es cuatro veces mayor que el radio de esta última.

OBJETOS DEL LINCE

Aunque dentro del Lince es difícil descubrir objetos particularmente atractivos para la observación astronómica, hay un cúmulo globular que merece mención por su considerable distancia al centro galáctico.

Se trata de NGC 2419, un objeto situado a más de 200.000 años luz del centro de la Vía Láctea; para hacerse una idea de lo grande que es esta distancia, téngase en cuenta que el diámetro de nuestra Galaxia es de unos 100.000 años luz y que la distancia que nos separa de la galaxia de Andrómeda es de unos 2 millones de años luz.

Afortunadamente, nos encontramos en la parte de la Vía Láctea más próxima a NGC 2419, por lo que dicho objeto «sólo» dista de nosotros 180.000 años luz; a pesar de la gran distancia que nos separa de él, es visible con telescopios de aficionado y su magnitud es de 11,5.

Además de NGC 2419, también es interesante NGC 2683, una galaxia espiral de décima magnitud visible casi de perfil.

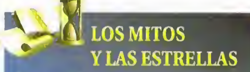


NGC 2683 es una galaxia situada en el extremo meridional de la constelación.

DÓNDE BUSCARLA

EL LINCE

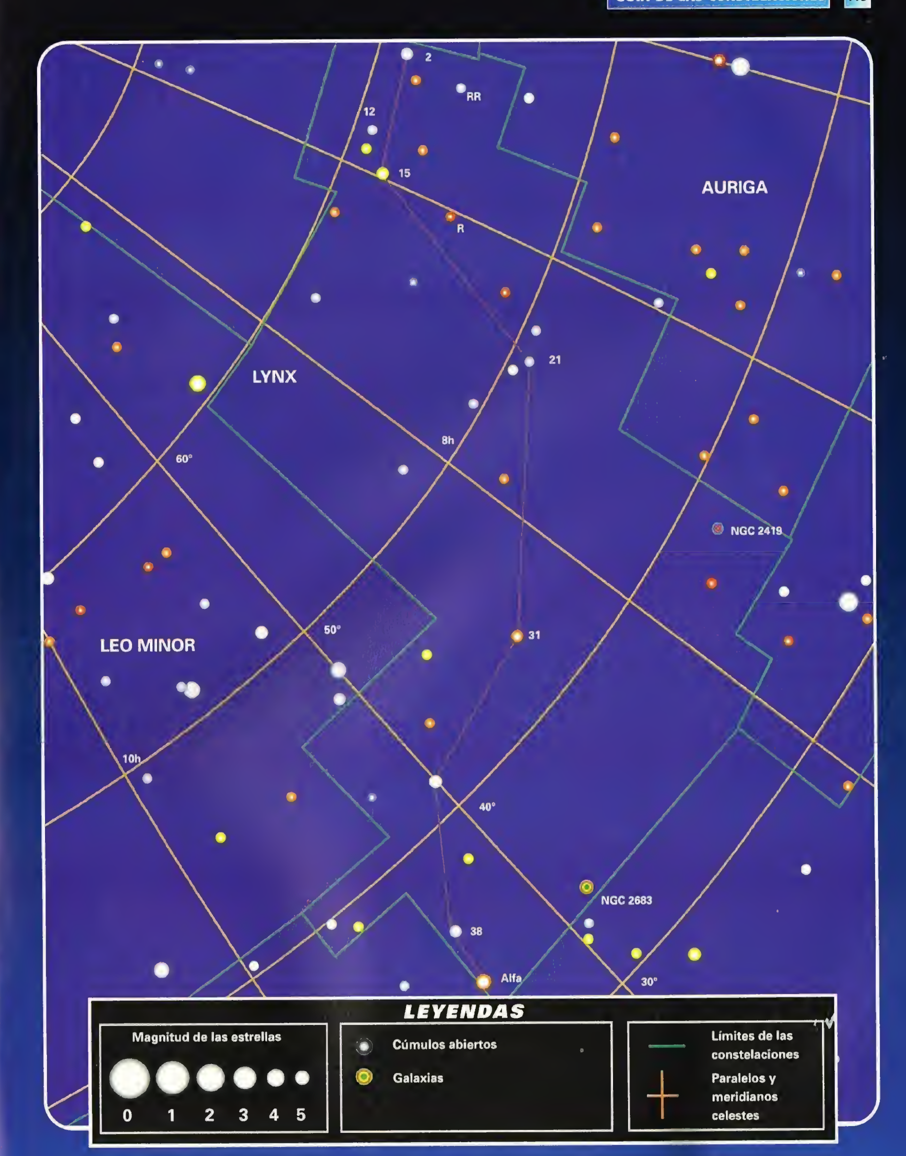
El Lince pertenece al grupo de las constelaciones invernales, si bien su elevada declinación la hace visible durante buena parte del año. También por esta razón, es visible en posiciones no demasiado distantes del punto cardinal norte. Abarca una región del cielo comprendida entre las 6 horas 10 minutos y las 9 horas 40 minutos de ascensión recta, y entre los 33 y los 62° de declinación, aproximadamente.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL LINCE

Al parecer, hay que buscar el origen del nombre de esta constelación, introducida por Hevelius, en la escasa luminosidad de los astros que la componen. Según Hevelius, era necesaria una vista de lince para percibir sus estrellas poco luminosas.



2
RR
12
15
R
AURIGA
LYNX
21
8h
60°
NGC 2419
LEO MINOR
50°
31
10h
40°
NGC 2683
38
Alfa
30°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

EL LÍMITE DE ROCHE

El límite de Roche constituye la divisoria entre las zonas de influencia de dos cuerpos celestes en órbita el uno alrededor del otro. Como en las fronteras entre estados, puede ser un punto de intercambio o una zona catastrófica.



Pensemos un poco en lo que ocurre en nuestro sistema solar. Un cortejo de planetas orbita tranquilamente alrededor de una estrella, el Sol, que es el único agente realmente importante en la determinación de la forma de las órbitas planetarias. En realidad, existen influencias de menor entidad entre los distintos planetas, pero son lo bastante pequeñas para que podamos considerarlas despreciables.

Imaginemos ahora qué sucedería si en lugar del Sol hubiera dos estrellas en órbita la una alrededor de la otra. Es muy difícil prever cómo podrían moverse los planetas en torno a dos astros masivos.

Para simplificar el problema, podemos limitarnos a considerar un solo planeta que gira alrededor de dos estrellas. Incluso en este caso, el problema no tiene una respuesta fácil de encontrar.

EL PROBLEMA DE LOS TRES CUERPOS

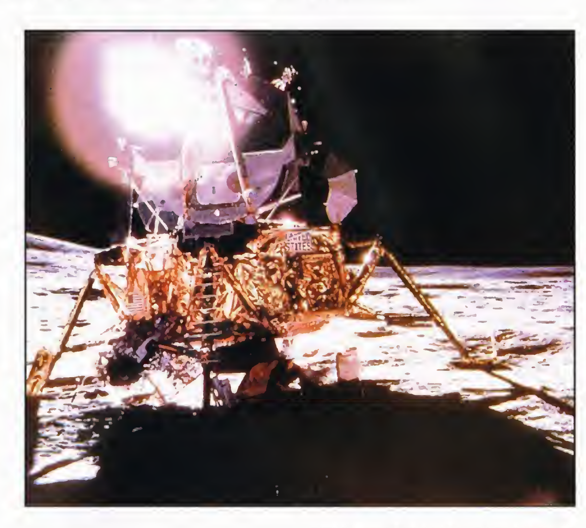
Hemos reducido el problema inicial a otro mucho más simple, pero igualmente intrincado, que pone en juego las influencias recíprocas entre tres cuerpos.

Desde los albores de la física moderna, nacida con Galileo Galilei e Isaac Newton, estos temas han interesado a los científicos, especialmente a los que se ocupan de la evolución de sistemas como el solar. Esto es así porque se sabe resolver de manera exacta un problema en el que figuran sólo dos objetos que interactúan por medio de una fuerza, como la gravitacional o la eléctrica, que determina las trayectorias de ambos. Pero hasta finales del siglo XIX y principios del XX no se logró demostrar que cuando están presentes tres cuerpos no hay solución exacta, sólo aproximada y en ciertas condiciones.

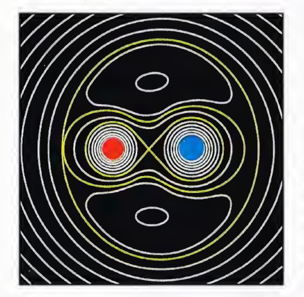
A pesar de todo, es posible hacerse una idea del problema sin hacer intervenir las ecuaciones de la mecánica ni complicados métodos de cálculo.

Podemos pensar en dos «casos límite», esto es, en dos situaciones extremas: en el primero de estos casos especiales podemos suponer que el planeta está tan lejos que el campo gravitacional generado por las dos estrellas puede asimilarse al de una única estrella de masa igual a la suma de las masas de ambos objetos principales. En cierto sentido, el planeta «percibe» las dos estrellas como si en realidad fueran una sola. Esto es verdad si la distancia del planeta a las estrellas es mucho mayor que la que separa los dos astros más masivos.

El caso opuesto corresponde a la situación en que la distancia del planeta



Para poder llegar a la Luna, los astronautas de las misiones Apollo tuvieron que atravesar el límite de Roche del sistema Tierra-Luna, pasando por el punto de Lagrange, en el cual se igualan las fuerzas gravitatorias de ambos objetos celestes.



Las superficies en las que el potencial gravitatorio de dos estrellas toma valores constantes se dividen en dos familias. Las próximas a una de las estrellas son casi esféricas y están centradas en el astro; las otras, más alejadas, contienen ambos astros. El límite de Roche es la superficie que divide las dos familias; está formado por dos lóbulos separados, centrados en las respectivas estrellas que entran en contacto en un punto llamado punto neutro o punto de Lagrange.



El sistema Beta Lyrae está formado por dos estrellas que intercambian materia a través del límite de Roche. Parte de esta materia escapa al espacio formando una nube que envuelve el sistema.

a una de las estrellas es pequeña comparada con la distancia entre las dos estrellas. En tales condiciones, es razonable pensar que el planeta vivirá en las cercanías de la estrella más próxima. En realidad, en este segundo caso las cosas no siempre son tan sencillas, pero, en definitiva, al término de nuestras consideraciones estas excepciones se pueden omitir.

EL LÍMITE DE ROCHE

Lo que verdaderamente nos interesa es saber si existen dos condiciones extremas entre las cuales se presenten casos más complicados. Podemos resumir todo lo dicho hasta ahora afirmando que, dadas dos estrellas en órbita la una en torno a la otra, existirá una zona próxima a cada una de ellas en la que prevalecerá la atracción del astro más cercano, mientras que en zonas más lejanas su acción gravitacional será, en cierto sentido, común.

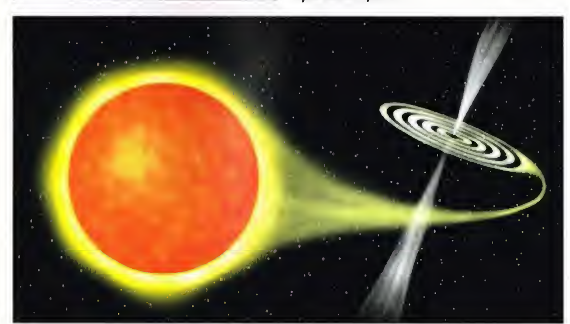
El límite de Roche constituye la frontera entre estas dos situaciones extremas; es, por tanto, la superficie dentro de la cual se separa el predominio gravitacional de las dos estrellas.

Es posible visualizar este límite. Los físicos han introducido el concepto de potencial para facilitar los complicados cálculos que describen la dinámica de los sistemas. Es difícil dar una definición intuitiva de potencial, pero puede servir un ejemplo.



En un sistema binario con transferencia de materia (a la izquierda), ésta no suele precipitarse directamente sobre el astro atractor. Generalmente va a parar a un disco en el que a veces se forma un punto tan caliente que emite rayos X.

Imaginemos que en el espacio existe sólo la Tierra, rodeada de una nube de satélites artificiales, todos iguales, situados en órbitas circulares a distintas distancias. Si queremos alejar definitivamente estos satélites de la Tierra, de tal modo que nunca regresen a ella, deberemos suministrarles una energía, por ejemplo encendiendo los motores de que van provistos. Esta energía será tanto mayor cuanto menor sea la distancia de los satélites a la Tierra. El potencial gravitacional está relacionado con la energía que debemos suministrar a un objeto para que escape de la atracción del cuerpo en torno al cual orbita. Depende de la distancia entre los objetos: concretamente, es inversamente proporcional a ella. Las superficies en las que el potencial es constante se llaman superficies equipotenciales. En el caso de nuestra Tierra aislada, se trata de esferas que rodean el planeta; todos los satélites que se encuentran a igual distancia de la



A veces, el paso de materia a través del límite de Roche puede dar lugar a fenómenos extraños; tal es el caso de SS433, una potente fuente de radiación perteneciente a la constelación del Águila. Este objeto es un sistema binario cuya componente expandida cede materia a un objeto compacto que absorbe gas y lo dispone en un disco de acreción. Parte de este gas, sustraído a la estrella de mayor tamaño, se precipita sobre la superficie del astro más compacto, mientras que otra fracción se emite a una velocidad igual a un cuarto de la de la luz.



Tierra requieren la misma velocidad para poder escapar de la atracción terrestre, por lo que su potencial es igual.

SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES PARA DOS ESTRELLAS PRÓXIMAS

Si pudiésemos visualizar las superficies equipotenciales de una Tierra aislada, deberíamos imaginar, por tanto, una familia de esferas que la rodean. Si cortáramos estas esferas con el plano ecuatorial terrestre obtendríamos una serie de circunferencias, una para cada esfera cortada.

Tratemos ahora de repetir el razonamiento con nuestro sistema de dos estrellas que orbitan la una alrededor de la otra, cortando el sistema con el plano que pasa por el centro de ambas.

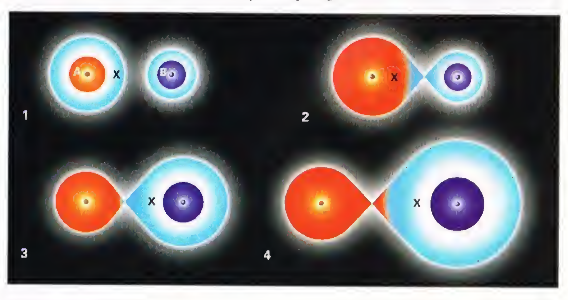
Muy lejos de las estrellas, las superficies equipotenciales serán circunferencias en cuyo centro estarán los dos astros, mientras que cerca de cada una de ellas serán circunferencias centradas en cada uno de los soles. Consideremos estas últimas líneas; cuanto más cerca estén de una estrella, tanto menor será la influencia de la otra estrella y tanto más se parecerán a circunferencias. A medida que nos alejemos, estas líneas se irán deformando y adquiriendo forma ovalada. Las curvas «lejanas», en cambio, serán tanto más parecidas a circunferencias cuanto más disten de las dos estrellas; a medida que se acerquen a ellas irán deformándose hasta adoptar una forma bilobular que irá acentuándose al reducirse la distancia a los dos cuerpos centrales. Por tanto, existirá una línea en forma de 8 que separará los dos casos. Esta línea de separación es la que corresponde al límite de Roche.

EFECTOS EN EL LÍMITE

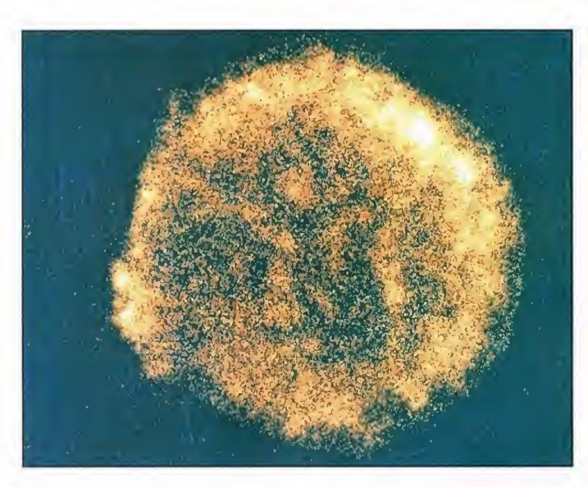
¿Qué importancia reviste el límite de Roche, al margen de ser la superficie que separa la esfera de influencia de las dos estrellas aisladamente consideradas de aquella en la que actúan como un cuerpo único?

Lo cierto es que las estrellas no son objetos que mantienen un tamaño fijo a lo largo del tiempo. Al contrario de lo que sucede con los planetas, su radio varía de modo considerable. En un sistema binario puede suceder que una de las componentes se expanda tanto que llene toda su esfera de influencia y llegue al límite de Roche. En tal caso, parte de la materia que la compone puede ser absorbida por la compañera a través del punto de contacto de los lóbulos de Roche (llamado punto neutro o punto de Lagrange), porque en él se igualan las fuerzas de atracción de ambas estrellas. Se produce entonces un trasvase de materia de una estrella a otra con consecuencias a menudo catastróficas. La materia que escapa de una estrella empieza a orbitar en torno a la otra, disponiéndose en el plano orbital de ambos astros. A medida que prosigue la absorción de material, éste va

Supongamos que eliminamos los objetos del sistema solar excepto la Luna, la Tierra y el Sol. Podremos pensar entonces en una superficie de Roche para el sistema Sol-Tierra. La Luna se encuentra dentro de esta superficie límite, por lo que orbita alrededor de la Tierra.



A la derecha, un sistema formado por dos estrellas lo bastante próximas como para dar origen a curiosos fenómenos de transferencia de masa a través del límite de Roche. La estrella más vieja, de color rojo, se expande hasta llenar su propio lóbulo, tras lo cual parte de la materia que la compone es absorbida por la compañera. Debido a este paso de materia cambia la relación entre las masas de las estrellas y, por tanto, también se modifican las dimensiones de los respectivos lóbulos de Roche. Se indica con una «x» el baricentro del sistema; también éste cambia de posición, moviéndose hacia la estrella que atrae materia.



Algunas supernovas explotan porque una estrella muy expandida, que ha llenado su lóbulo de Roche, cede materia a una compañera más compacta. Ésta, como consecuencia de la acreción, puede alcanzar un estadio de inestabilidad que la lleva a explotar con consecuencias catastróficas.

formando un disco, llamado por los astrónomos «disco de acreción», en el que empiezan a actuar fuerzas de rozamiento que frenan la rotación de la materia alrededor de la estrella y favorecen la caída sobre el astro atractor. Por consiguiente, la estrella no expandida va aumentando de tamaño a expensas de la vecina hasta que llega a una situación de inestabilidad. La dinámica de estos sistemas es variable: en ciertos casos, tiene lugar una explosión catastrófica de la estrella en fase de acreción con producción de una supernova. En otros, la explosión puede quedar limitada a las capas más externas y se produce sólo una nova.

A menudo el punto de caída de la materia genera una «mancha caliente» *(hot spot)* en el disco de acreción. Allí las temperaturas son tales que se produce una intensa emisión de rayos X, detectada por los satélites que estudian esta banda espectral.

En otros casos, la transferencia de materia puede ser más tranquila, lo cual sucede si las dos estrellas han llenado el respectivo lóbulo de Roche; también puede ocurrir, como en el caso de la estrella Beta de la constelación de la Lira, que no sólo se forme un disco sino también una corriente de materia que es expulsada del sistema binario, creando una nube dentro de la cual orbitan los dos astros.

Por consiguiente, la dinámica de un sistema formado por dos estrellas es variada y el límite de Roche representa la zona en la que son más interesantes e intrincados los fenómenos de interacción entre los objetos que componen el sistema.

EXPERIMENTO

CÓMO VISUALIZAR EL LÍMITE DE ROCHE

Tomemos tres imanes iguales en forma de barra e identifiquemos sus polos. Fijemos dos de ellos a un plano de tal modo que uno de los dos polos esté apoyado encima del plano y el otro mire hacia arriba; los polos libres deben ser del mismo signo, esto es, ambos polos norte o ambos polos sur. Atemos ahora el tercer imán a un hilo delgado de algodón o de nailon y dejemos que cuelgue entre los otros dos de modo que el polo que mira hacia abajo sea de polaridad opuesta a los polos libres de los imanes fijados al plano. Si lo empujamos, el imán colgado empezará a oscilar entre los otros dos moviéndose de uno a otro; el movimiento será casi circular en torno a los dos imanes fijos. Pero, con el tiempo, el rozamiento del hilo irá reduciendo la energía, con lo que el movimiento quedará limitado a una región situada cerca de los dos imanes fijos. Al reducirse cada vez más la energía, las órbitas se volverán complicadas, hasta que llegue un momento en que el imán «decidirá» girar alrededor de uno u otro de los imanes. En este momento se encontrará en el límite de Roche de los dos imanes.



Según algunos científicos, el origen del sistema de anillos que rodea Saturno hay que buscarlo en las fuerzas de marea. Éstas habrían impedido la formación de un satélite, siquiera de pequeñas dimensiones, a partir de la aglomeración del material situado dentro del lóbulo de Roche del planeta.

CENTROS ASTRONÓMICOS DE ESPAÑA

Muchas universidades españolas disponen de facultades e institutos dedicados al estudio de la astronomía que aprovechan las óptimas características de nuestro cielo.



Al amparo de sus excelentes condiciones climáticas para la observación, España se ha erigido en un punto de referencia obligado en la investigación astronómica y ha hecho un notable esfuerzo en la formación de especialistas.

Junto a diversas instituciones dedicadas profesionalmente a la astronomía, una serie de observatorios privados, gestionados por asociaciones de astrónomos aficionados, ponen de manifiesto el gran interés que la astronomía despierta en nuestro país. Esta tradición no arranca en el siglo XX; algunos observatorios españoles cuentan con una larga trayectoria, y guardan un auténtico tesoro de libros, manuscritos y documentos impresos de incalculable valor, así como instrumentos de observación que constituyen verdaderas piezas de museo.

El presente resurgir de la astronomía española obedece a la excepcional calidad del cielo, que ha llevado a universidades e instituciones extranjeras a instalar en nuestro territorio impresionantes instrumentos al amparo de convenios de cooperación. Es el caso, por ejemplo, de la excepcional batería de telescopios del observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma.

CÓMO SE TRABAJA EN UN CENTRO ASTRONÓMICO

La principal actividad de los centros astronómicos españoles está relacionada tanto con el trabajo teórico y experimental como con la elaboración de datos. La aparición de los ordenadores, así como los avances en materia de instrumentación, cada vez más sofisticada, han revolucionado en los últimos decenios el trabajo del astrónomo. El enorme volumen de datos observacionales ha obligado a un uso creciente y sistemático de técnicas informáticas avanzadas para la reducción, la elaboración y el análisis de los mismos. A la par, ha obligado a los astrónomos a

Cúpula de uno de los telescopios del observatorio astronómico hispano-alemán de Calar Alto, en la sierra de los Filabres (Almería).



Telescopio del observatorio del Ebro, centro creado en 1905, dirigido por jesuitas y dedicado al estudio de la física de la Tierra y del cosmos.

profundizar en sus modelos teóricos, cada vez más elaborados.

EL USO DE LA RED

Los centros astronómicos realizan también importantes actividades de divulgación y pueden ser visitados por cualquier persona interesada. No obstante, las modernas redes informáticas, a las que se puede acceder a través de Internet, permiten obtener información e imágenes sobre los distintos centros astronómicos, su personal y sus principales líneas de investigación, e incluso establecer contacto con los propios astrónomos.

OBSERVATORIO DEL EBRO

Creado en 1905 y dirigido por jesuitas, se ha convertido en un impresionante banco de datos especializado en geofísica, magnetismo terrestre, sismología y el estudio de la ionosfera. Dispone de un telescopio, de un radiotelescopio y de diversos instrumentos de medidas sismográficas. Colabora con el Instituto Nacional de Meteorología en la previsión atmosférica. Desde 1991 está integrado como instituto universitario en la Universidad Ramon Llull.

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL

Centro creado en 1804, depende del Instituto Geográfico Nacional. Dispone de una sede central en Madrid, una estación en Calar Alto (Almería) y un centro de radioastronomía en Yebes (Guadalajara). Se encarga de la publicación del Boletín y el Anuario Astronómico, así como de la emisión de las señales horarias.

CENTRO ASTRONÓMICO HISPANO-ALEMÁN DE CALAR ALTO

El observatorio hispano-alemán de Calar Alto, uno de los complejos astronómicos más importantes de los ubicados en territorio español, fue fundado en 1984 en la sierra de los Filabres (Almería). Depende del prestigioso Max-Planck-Institut für Astronomie, con sede en Heidelberg (Alemania), y está regulado por un convenio entre España y Alemania. Por el mero hecho de hallarse en territorio español, un 10% del tiempo de observación se reserva a proyectos y a astrónomos españoles. Su óptimo emplazamiento, a una altitud de 2.168 m, y sus magníficas condiciones climáticas para la observación, lo han convertido en una pieza clave de la astronomía europea.

Dispone de diversos instrumentos, entre los que destacan telecopios de 3,5, 2,2 y 1,23 m de diámetro, diversas cámaras CCD y espectrógrafos. Las principales líneas de investigación que desarrolla el observatorio de Calar Alto (en el que trabajan 7 alemanes y 40 españoles) se centran en la estructura de la Vía Láctea y en astronomía infrarroja. Este centro participó en el seguimiento del cometa Halley.

CENTRO ASTRONÓMICO DE YEBES

Organismo dependiente del Instituto Geográfico Nacional, dedicado fundamentalmente al estudio del cosmos en la banda de ondas radio. En su emplazamiento en Yebes (Guadalajara), a una altitud de 931 m, dispone fundamentalmente de un radiotelescopio de 13,7 m para ondas milimétricas (rango espectral: 41 a 49 GHz), así como de un astrógrafo doble de 40 cm de abertura que opera en el visible. Tiene un laboratorio electrónico y un taller mecánico en el que se contruyen y caracterizan receptores para radioastronomía, incluida la parte criogénica, así como componentes electrónicos individuales (amplificadores, etcétera).

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA MARINA DE SAN FERNANDO

Creado en 1753, depende del Estado Mayor de la Armada. Realiza investigaciones en astrometría, geofísica y geodesia. En 1957 se incorporó a la red mundial de seguimiento de satélites, desde la que ha prestado apoyo a vuelos tripulados, sondas espaciales, reentradas de satélites y programas de geodesia de precisión. Dispone de diversos telescopios, entre ellos el Baker-Nun, y equipos telemétricos láser.

OBSERVATORIO DE SIERRA NEVADA-PICO DE VELETA

A una altitud de 2.900 m se alza el observatorio del Pico de Veleta, en Sierra Nevada, bajo los auspicios del Instituto de Astrofísica de Andalucía. Dispone de diversos telescopios de tamaño medio, entre los que destacan dos instrumentos, de 90 cm y 1,5 m de diámetro, que operan en el visible.

También en el Pico de Veleta, a una altitud de 2.870 m, se encuentra ubicada una estación de radioastronomía en la que

ASTRONOMÍA A TRAVÉS DE INTERNET

A través de la Sociedad Española de Astronomía (SEA), asociación que reúne a casi 300 astrónomos profesionales españoles, puede accederse a un gran número de documentos y páginas web de diversos centros astronómicos españoles e internacionales (dirección Internet: http://sea.am.ub.es). En su página web se pasa revista a la astronomía en España y al personal científico dedicado profesionalmente a esta ciencia; también puede consultarse una bolsa de trabajo para astrónomos profesionales.

Otras direcciones útiles vía Internet (a las que puede accederse desde los múltiples links de la página de la SEA) son:

Centro Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto (Almería): http://www.caha.es; http://www.mpia-hd.mpg.de/CAHA/general.html.

Observatorio del Pico de Veleta (IRAM): http://www.iram.es.

Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC): http://www.iac.es/home.html. Este centro gestiona el complejo de observatorios de las islas Canarias (observatorios del Teide y del Roque de los Muchachos). Dispone de una completísima colección de imágenes astronómicas.

Observatorio del Teide (Izaña, Tenerife): http://www.iac.es/folleto/teide.html.

Observatorio del Roque de los Muchachos (isla de La Palma): http://ing.iac.es/welcome.html.



Vista general del complejo de telescopios del observatorio del Teide (Izaña, Tenerife), centro dedicado fundamentalmente al estudio de la física solar.

destaca un radiotelescopio de 30 m de diámetro. El centro, dependiente del Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM, Francia), dispone asimismo de laboratorios de electrónica y de un taller mecánico para la construcción, el mantenimiento y la caracterización de receptores radioastronómicos para ondas milimétricas refrigerados a temperaturas criogénicas. Un 16% del tiempo de observación está reservado a astrónomos españoles.

OBSERVATORIO DEL TEIDE

Situado en Izaña, en la isla de Tenerife, a una altitud de 2.390 m, el observatorio del Teide es uno de los centros mundiales de mayor relevancia en el estudio de la física solar, tanto por la gran calidad del cielo como por su localización geográfica (la mayoría de los restantes centros astronómicos se encuentran a latitudes muy distintas). Dispone de un gran número de instrumentos dedicados al estudio del Sol, como el telescopio solar Newton al vacío (VNT) o el telescopio solar de torre al vacío (VTT), dependientes del Instituto Kiepenhauer (Alemania). Poseen un diámetro de 40 y 60 cm, respectivamente, y operan en el rango espectral óptico e infrarrojo cercano. Otro telescopio solar alemán es el Gregory Coudé (GCT), un instrumento de 45 cm de diámetro que opera en los mismos rangos espectrales que el VNT y que depende de la Universidad de Göttingen. Otro instrumento reciente es el THEMIS (Télescope Héliographique pour l'Étude du Magnétisme et des Instabilités Solaires), un telescopio solar fruto de una cooperación franco-italiana. Sus principales objetivos se centran en el estudio del magnetismo solar.

El observatorio del Teide dispone de otros ocho instrumentos internacionales para estudios de sismología solar, con nodos de las redes heliosismológicas más importantes del mundo: GONG (Estados Unidos), IRIS (Francia) y BISON (Reino Unido).

Junto a los citados instrumentos destinados al estudio de la física solar, el observatorio del Teide cuenta asimismo con un telescopio reflector de 50 cm de diámetro, que opera en el rango visible y que está a cargo de la Universidad de Mons (Bélgica); el IAC-80, un telescopio óptico de 80 cm de diámetro, construido y diseñado en el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), y, muy especialmente, el telescopio infrarrojo Carlos Sánchez, de 1,55 m de diámetro. También se encuentran en las instalaciones del citado observatorio el OGS (Optical Ground Station), un telescopio de 1 m de diámetro de la Agencia Espacial Europea (ESA), el Bradford Robotic Telescope de la Universidad de Bradford (Reino Unido), dedicado a observar contrapartidas ópticas de los destellos gamma, y un conjunto de cinco radiotelescopios que constituyen el llamado experimento de Tenerife, para el estudio de la radiación de fondo procedente del Big-Bang.

OBSERVATORIO DEL ROQUE DE LOS MUCHACHOS

Es un observatorio clave del hemisferio norte, situado junto al Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (isla de La Palma), a una altitud de 2.396 m. Entre su impresionante instrumentación destaca el telescopio óptico-infrarrojo William Herschel, con un diámetro de 4,2 m, fruto de una cooperación anglo-holandesa. Otros notables telescopios son el Isaac Newton, de 2,5 m de diámetro, y el Jacobus Kapteyn, de 1 m de diámetro.

Completan el conjunto un refractor solar de 50 cm de diámetro, de la Real Academia de Ciencias de Suecia, otro gran telescopio solar (LEST) de 2,5 m de diámetro, un círculo meridiano de la Universidad de Copenhague, el telescopio nórdico NOT, de 2,56 m de diámetro, y un nuevo instrumento, el telescopio nacional italiano Galileo, de 3,5 m.

Un 20% del tiempo de observación en estos instrumentos está reservado a proyectos españoles. Actualmente se encuentra en fase de estudio el emplazamiento del llamado Gran TECAN, un telescopio multiespejo de 10 m de diámetro.

Completan el complejo un taller de mecánica, en el que se realizan tareas de tratamientos térmicos, electroquímicos y de soldadura; un taller de electrónica, en el que se fabrican y diseñan circuitos integrados, y laboratorios de CAD óptico-mecánicos, de fibras ópticas y de recubrimientos ópticos.

El imponente telescopio óptico-infrarrojo William Herschel, joya del observatorio del Roque de los Muchachos, con sus 4,2 m de diámetro.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

CINTURONES DE VAN ALLEN

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LAS POBLACIONES ESTELARES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

PISCIS

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

ASÍ NACIÓ LA ASTRONÁUTICA

EL USO DEL ESPACIO

EL PROGRAMA ORÍGENES



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

55



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

CINTURONES DE VAN ALLEN

Los cinturones de Van Allen constituyen dos depósitos de partículas cargadas, llenados por los rayos cósmicos y por el viento solar, y mantenidos por el campo magnético terrestre.

La superficie terrestre está bombardeada incesantemente por una enorme cantidad de partículas cargadas: los rayos cósmicos.

Para dar una idea, digamos que el flujo de rayos cósmicos al que estamos constantemente sometidos es del orden de una partícula por segundo y por centímetro cuadrado de superficie. Una cantidad enorme.

En realidad, lo que nos llega es el producto de la interacción de partículas procedentes de las remotas profundidades del espacio con los

Los astronautas que se encuentran en órbita alrededor de la Tierra están expuestos a peligros de diversa naturaleza. Además de las colisiones con objetos celestes de pequeño tamaño y restos de satélites, deben enfrentarse a un enemigo más sutil: las intensas radiaciones emitidas por los dos cinturones que rodean la Tierra y que solamente dejan libres las zonas próximas a los polos magnéticos. Estos cinturones llevan el nombre del científico que los descubrió: Van Allen.



La fotografía de la izquierda muestra un cinturón de electrones «descargado» por el transbordador espacial durante una misión. Los electrones se mueven según trayectorias en forma de espiral alrededor de las líneas de campo magnético de la Tierra.

átomos de la atmósfera terrestre. Estos choques entre partículas generan intensos enjambres de partículas secundarias que se precipitan continuamente sobre la superficie de nuestro planeta.

UNA PANTALLA INVISIBLE

Sin embargo, no todas las partículas cargadas que apuntan directamente a la Tierra consiguen llegar a su superficie o a su atmósfera, ya que el planeta está rodeado por un campo magnético.

El efecto de un campo magnético sobre una carga en movimiento es la modificación de su trayectoria, curvándola según una circunferencia cuyo radio es directamente proporcional a la velocidad y a la masa de la partícula, e inversamente proporcional a la intensidad del campo magnético deflectante y a la carga de la partícula. Sin embargo, esta deflexión sólo se produce en partículas que no se mueven a lo largo de las líneas de campo magnético: una partícula que se mueva a lo largo del campo magnético no se desvía, mientras que si se mueve perpendicularmente a él recibirá de la manera más eficaz posible la acción del campo.

El efecto de la deflexión producida por el campo magnético terrestre es la reducción parcial del flujo de rayos cósmicos que, en su ausencia, llegaría a nuestro planeta. Este flujo sería tan intenso que haría imposible el desarrollo de la vida.

Existe también otra fuente de partículas cargadas: el viento solar, es decir, la corriente que «sopla» incesantemente desde el Sol a una velocidad que, en las proximidades de la Tierra, es de unos 400 km/s. Tanto el viento solar como los rayos cósmicos están compuestos, principalmente, de electrones y protones.

Para dar una idea del efecto del campo magnético, hay que tener en cuenta que un protón del viento solar que se mueva perpendicularmente a un campo magnético (de intensidad igual a la del campo magnético en la superficie de la Tierra) se encuentra en una trayectoria circular cuyo radio aproximado es de 500 m.

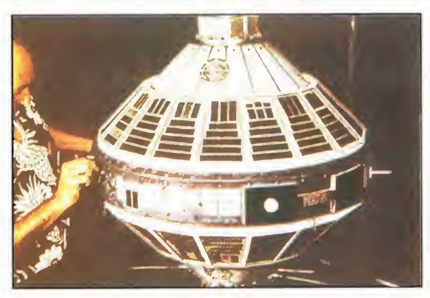
Las partículas deflectadas por el campo magnético terrestre no son dispersadas en el espacio, sino que van a situarse en dos zonas, llamadas cinturones de Van Allen, por el nombre del científico que efectuó el experimento que condujo a su descubrimiento.

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS CINTURONES DE VAN ALLEN

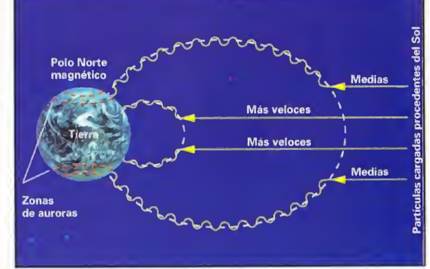
Los cinturones de Van Allen fueron descubiertos en los albores de la era espacial. En 1957, los soviéticos lanzaron el Sputnik, el primer satélite puesto en órbita. El 31 de enero de 1958, también los estadounidenses lanzaron con éxito el suyo, el Explorer-1.

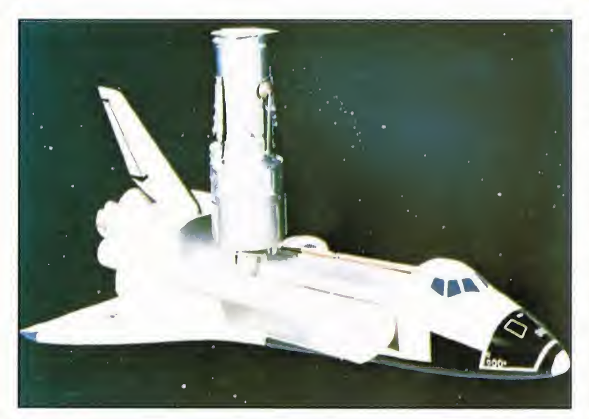
En este satélite, además de otros instrumentos, se montó un contador Geiger cuyos datos eran enviados a la Tierra. Una vez alcanzada una altura de unos 2.000 km, el contador dejó de mandar señales. Al principio se pensó en un fallo o en la ausencia de radiación, pero luego se descubrió que el satélite había atravesado una zona en la que la radiación era tan alta que saturaba el contador hasta el punto de impedir su funcionamiento.

Con el lanzamiento del primer satélite estadounidense, el Explorer-1, se descubrieron los cinturones de Van Allen. El satélite llevaba a bordo unos detectores de radiaciones que quedaron saturados por la intensidad de las radiaciones de dichos cinturones.



Las partículas son deflectadas más o menos fácilmente por el campo magnético de la Tierra, según su energía. Las que tienen una energía mayor penetran profundamente, mientras que las menos energéticas permanecen más alejadas de nuestro planeta.





Viajando en órbitas situadas a pocos centenares de kilómetros sobre la superficie terrestre, el transbordador espacial está bastante por debajo del cinturón de Van Allen interno y, por tanto, fuera de zonas en las que las altas radiaciones pueden constituir un peligro para los astronautas.

Los estudios que siguieron mostraron que las zonas de alta radiación eran dos: una, más pequeña, centrada alrededor de una altura de 3.000 km, y la otra alrededor de los 23.000 km sobre la superficie terrestre.

El cinturón más externo está compuesto por electrones, y el más cercano a la Tierra está formado por protones. En ambos hay radiaciones fuertemente energéticas.

EL EFECTO ESPEJO

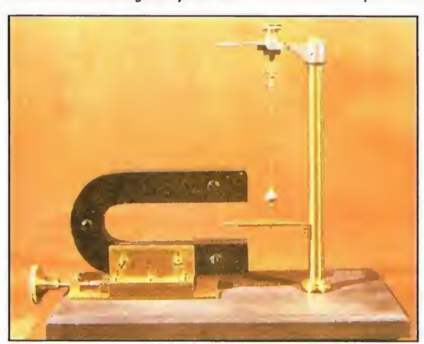
Pero ¿qué mecanismo permite a las partículas con cargas del mismo signo habitar en la misma región? Porque, en realidad, las leyes de la electrostática nos dicen que dos partículas con cargas de igual signo se repelen.

El mecanismo que permite explicar la persistencia de los cinturones de Van Allen se llama «efecto espejo».

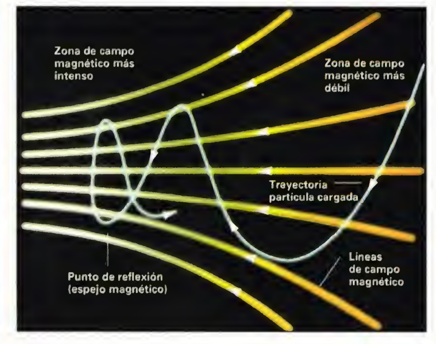
Se ha dicho antes que una partícula que entra en una zona en la que hay un campo magnético es deflectada de su trayectoria originaria, siempre que la dirección de su velocidad no sea paralela al campo magnético. Más exactamente: si la velocidad de la partícula forma un cierto ángulo con el campo magnético, la componente de la velocidad paralela al campo permanece inalterada, mientras que la perpendicular producirá la desviación de la partícula. Puede pensarse que la velocidad oblicua viene dada por la suma de la correspondiente velocidad paralela y de la perpendicular al campo. También la energía cinética, que por definición es igual a la mitad del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad, puede descomponerse en dos contribuciones, una debida a la componente paralela de la velocidad, y otra a la componente perpendicular de la velocidad.

Como una partícula en movimiento perpendicular al campo magnético se mueve a lo largo de una circunferencia, lo que ocurre si el movimiento tiene una cierta inclinación respecto a las líneas de fuerza magnéticas es que, superpuesto al movimiento circular, existirá también otro de traslación inalterado por el campo: el resultado es una trayectoria helicoidal que gira alrededor de las líneas de fuerza del campo deflectante.

El campo magnético, aun cambiando la dirección de una partícula, no modifica el módulo de su velocidad a lo largo de la trayectoria. Es decir, si en ausencia de campo la partícula tiene una velocidad igual a 400 km/s, en presencia del campo



La Tierra genera un campo magnético cuya intensidad, aunque no es muy elevada, puede desviar las partículas que llegan a sus proximidades: los rayos cósmicos, producidos mediante procesos todavía desconocidos que los aceleran hasta energías muy elevadas.



El efecto espejo se produce cuando una partícula que se mueve alrededor de una línea de campo magnético se desplaza hacia una región en la que aumenta la intensidad de éste. De la conservación de dos magnitudes, energía y momento magnético, puede deducirse este efecto de manera teórica; la existencia de los cinturones de Van Allen representa su confirmación experimental.

LA FUERZA DE LORENTZ

El efecto de un campo magnético sobre una partícula cargada en movimiento es el desvío de su trayectoria. El campo magnético produce una fuerza, llamada fuerza de Lorentz, que está dirigida perpendicularmente a la velocidad y a la dirección del campo magnético mismo. Además, es proporcional a estas dos magnitudes y a la carga eléctrica de la partícula.

magnético su velocidad será todavía igual a 400 km/s, aunque ahora se moverá siguiendo una trayectoria distinta. Como la velocidad determina la energía cinética, se dice también que el campo magnético conserva la energía, o no realiza trabajo.

Como se ha visto antes, en un campo magnético las trayectorias de las partículas cargadas son helicoides alrededor de las líneas de campo. Ahora bien, el campo magnético terrestre es análogo al de un imán, con los polos situados en las proximidades de los polos geográficos. Por tanto, sus líneas de fuerza entran y salen de dos puntos llamados polos magnéticos terrestres. Cabría, pues, esperar que las partículas, que viajan a lo largo de sus órbitas helicoidales, discurran a lo largo de las líneas de fuerza y acaben antes o después en uno de los dos polos magnéticos. Pero esto no ocurre porque, además de la energía, se conserva también el llamado momento magnético.

El momento magnético puede escribirse como la relación entre la energía cinética perpendicular y el campo magnético. La primera, como se ha dicho, viene dada por el producto de la masa por el cuadrado de la componente de la velocidad perpendicular al campo, y dividiendo el total por dos.

Conservar el momento magnético significa que, si el campo magnético aumenta, debe aumentar también en igual medida la energía cinética perpendicular, y viceversa: si el primero disminuye, también la segunda disminuirá en igual medida. Como la energía total se conserva y es igual a la suma de la perpendicular y la paralela, la primera no puede aumentar desmesuradamente, sino solamente hasta que iguala la energía cinética total.

Los cinturones de Van Allen son dos franjas toroidales que rodean nuestro planeta dejando libres las regiones polares. Se trata de dos gigantescos depósitos de partículas cargadas de alta energía, protones y electrones, que llenan, respectivamente, el cinturón interno y el externo.

En este momento, sin embargo, la energía cinética paralela será nula y, por consiguiente, será nula también la componente paralela de la velocidad: la partícula ya no podrá seguir más a lo largo de la línea de fuerza, sino que solamente podrá volver hacia atrás.

Esto es lo que se llama efecto espejo.



Las explosiones nucleares generan una gran cantidad de partículas de alta energía. Entre finales de los años cincuenta y comienzos de los sesenta, se eligió la alta atmósfera para estas explosiones con el fin de estudiar los tiempos de permanencia de las partículas en los cinturones de Van Allen.

VACIADO DE LOS CINTURONES DE VAN ALLEN

El campo magnético terrestre es más intenso en las proximidades de los polos magnéticos, donde las líneas de fuerza presentan una mayor concentración, como ocurre en los imanes naturales. Allí se produce el efecto de espejo magnético que afecta a las partículas capturadas por el campo magnético. De este modo se explica también la forma de los cinturones de Van Allen, más abultados hacia el centro, situado sobre el plano ecuatorial magnético, que se define igual que el geográfico.

Pero, a pesar del efecto espejo, existe un límite en el tiempo de supervivencia de una

Eje magnético

1.000

10.000 10.000 1.000 100 10

Radios terrestres

1 2 3 4 6 7 8

Cinturón interno

partícula en los cinturones de Van Allen, más allá del cual dicha partícula escapa de esta zona para acabar en la alta atmósfera y, por tanto, interaccionar con sus estratos más externos.

Por lo general, un fenómeno de este tipo viene determinado por el efecto de las colisiones con las otras partículas que pueblan el cinturón.

Naturalmente, los cinturones no vacían todo su contenido, sino que en parte continúan poblados, ya que van rellenándose sin cesar por la alimentación continua que aporta la lluvia de rayos cósmicos y el viento solar.

Para establecer cuánto dura la permanencia de las partículas cargadas en los cinturones de Van Allen, entre finales de los años cincuenta y comienzos de los sesenta se explosionaron bombas nucleares a una altura de varios centenares de kilómetros, a fin de generar partículas cargadas que eran capturadas por el campo magnético. De este modo, se observó que las partículas pueden permanecer prisioneras desde unos pocos meses hasta varios años.

ORIGEN DE LOS CINTURONES DE RADIACIÓN

¿Cómo es que existen dos cinturones de radiación en vez de uno solo?

La respuesta a esta pregunta nos la da también la física. Ya hemos visto que el campo magnético curva la trayectoria de una partícula cargada, y que el radio de curvatura es tanto más pequeño –y, por tanto, el efecto del campo es tanto más acusado– cuanto menor es la velocidad de la partícula.

Esto significa que las primeras partículas que experimentan la influencia del campo magnético terrestre son las que tienen una velocidad menor, las cuales serán desviadas a grandes distancias de la Tierra. Existen dos fuentes de radiación cósmica: el viento solar y los rayos cósmicos. Mientras que el primero está compuesto de partículas con velocidades de unos 400 km/s, los segundos tienen un espectro de energía, y por tanto de velocidad, más amplio, y las partículas pueden adquirir velocidades próximas a las de la luz. Por consiguiente, el campo magnético actuará primero sobre la radiación del viento solar, que formará el cinturón más externo, mientras que los rayos cósmicos serán deflectados en una región más cercana a la superficie de nuestro planeta, donde el campo tiene una intensidad mayor.

El campo magnético generado en el interior de la Tierra actúa como una pantalla indispensable para el desarrollo de la vida, ya que protege parcialmente la superficie del planeta de una lluvia de radiaciones que, de otro modo, resultaría letal para la mayor parte de los seres vivos. El efecto de este escudo es colocar las partículas que llegan a la Tierra en órbitas de forma helicoidal que son recorridas una y otra vez hacia adelante y hacia atrás, con la creación de dos depósitos de electrones y protones: justamente los cinturones de Van Allen.

EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Todavía no está claro cuál es el mecanismo que genera el campo magnético terrestre, aunque se piensa que la rotación del núcleo de la Tierra, formado principalmente por hierro y níquel, puede generar corrientes capaces de producir este campo. Esencialmente, el campo terrestre recuerda el de un imán con los polos magnéticos próximos a los polos geográficos. Según estudios efectuados en las rocas que forman los fondos oceánicos, se ha visto que, periódicamente, los polos magnéticos se invierten a lo largo de períodos de millones de años.



También Júpiter, lo mismo que la Tierra, posee un campo magnético. Pero éste, además de rayos cósmicos, retiene en su interior un plasma generado por las erupciones volcánicas que tienen lugar en la superficie de su pequeña luna Ío.

LAS POBLACIONES ESTELARES

Existen estrellas jóvenes y estrellas viejas; estrellas que están naciendo y estrellas que están muriendo. El universo no es tan inmutable como podría creerse.



Las estrellas parecen ser objetos enormemente lejanos y diferentes. Tanto, que dan lugar a suponer que no participan en el discurrir del tiempo. Sin embargo, también las estrellas envejecen y mueren, aunque, naturalmente, a escalas de tiempo más largas que las habituales en nuestra vida cotidiana. Tengamos en cuenta que nosotros ni siquiera nos damos cuenta de que nuestra estrella más próxima, el Sol, está envejeciendo a la par que la Tierra. Incluso el hecho de que el Sol naciera hace unos cuatro mil quinientos millones de años nos deja casi indiferentes. Pero lo cierto es que también estos cuerpos celestes nacen, envejecen y mueren. Todavía más: no todas las estrellas del universo nacieron al mismo tiempo, sino que existen estrellas viejas y estrellas jóvenes. En este momento, en nuestra Galaxia hay estrellas acabadas de nacer de las nubes de materia interestelar, pero también, en alguna parte del universo, existen estrellas que están terminando su vida con espectaculares explosiones de supernova o extinguiéndose con la formación de nebulosas planetarias.

BAADE Y EL CONCEPTO DE POBLACIÓN

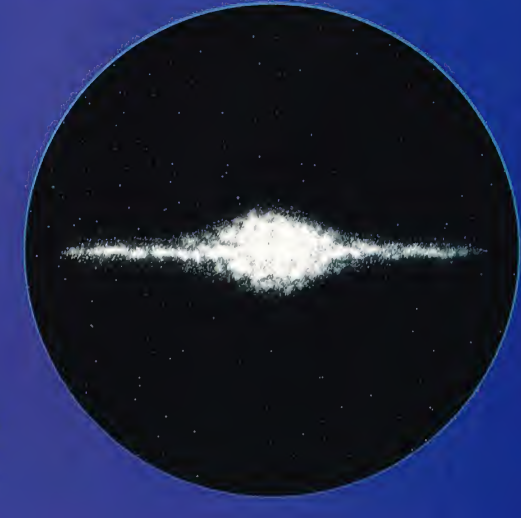
La edad de las estrellas lleva emparejado el concepto de «población estelar». En general, los astrónomos se refieren a las propiedades de las estrellas y, en particular, a la edad de estos objetos celestes dividiéndolos en poblaciones. Pueden identificarse dos grandes grupos de astros: se considera que las estrellas viejas pertenecen a la llamada población II (o población segunda), mientras que las estrellas jóvenes se denominan objetos de población I (o población primera). En realidad, entre ambas hay estrellas de población intermedia, además de las estrellas recién nacidas, que ocupan los brazos espirales de las galaxias y que son designadas con el nombre de «población I extrema».

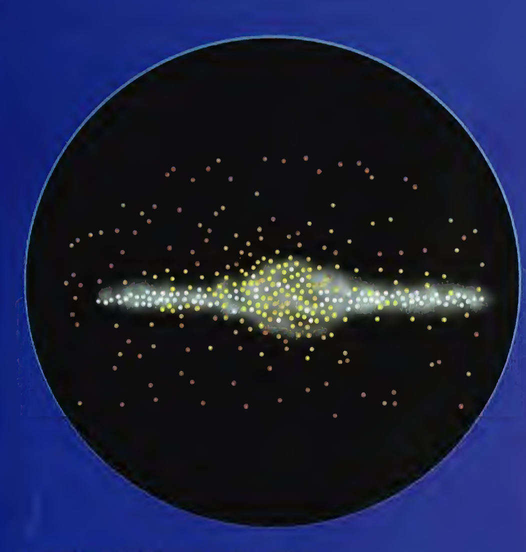
DIFERENTES DIAGRAMAS HR

Históricamente, las diferencias entre las poblaciones estelares empiezan a establecerse en los años veinte, cuando se observaron por primera vez diferencias entre los diagramas HR de cúmulos globulares y los de cúmulos abiertos o galácticos.

Ahora podemos interpretar perfectamente un diagrama HR de un sistema con las teorías de la evolución estelar, y sabemos que las diferencias existentes entre los dos tipos de diagramas se deben principalmente a la diferente edad de las estrellas que los forman: los cúmulos globulares están constituidos por estrellas muy viejas, las más viejas de nuestra Galaxia. Tienen de 10.000 a 20.000 millones de años, lo cual implica que la secuencia principal de un diagrama HR de un cúmulo globular, que es el lugar de dicho diagrama en el que las estrellas permanecen la mayor parte de su vida quemando hidrógeno mediante las reacciones nucleares, queda truncada en un cierto punto (llamado «punto de inflexión»). Una secuencia principal truncada indica que parte de las estrellas que la componen ya la han abandonado para

Abajo, esquema de la distribución de las estrellas de población I en nuestra Galaxia. Estas estrellas presentan una mayor concentración en el disco galáctico.





Arriba, esquema de la distribución de las estrellas de población II en nuestra Galaxia. Estas estrellas ocupan el halo y el núcleo de la Galaxia. Esta espacial distribución puede explicarse porque reproduce la que originariamente tuvo la materia interestelar de la que se formaron, una distribución de simetría esférica alrededor del centro galáctico.

convertirse en gigantes rojas. Cuanto más corta es la secuencia principal, más viejo es el cúmulo globular. La posición del punto de inflexión en un diagrama HR es, en realidad, un indicador óptimo, si no el único, de la edad de las estrellas que forman parte de un sistema estelar.

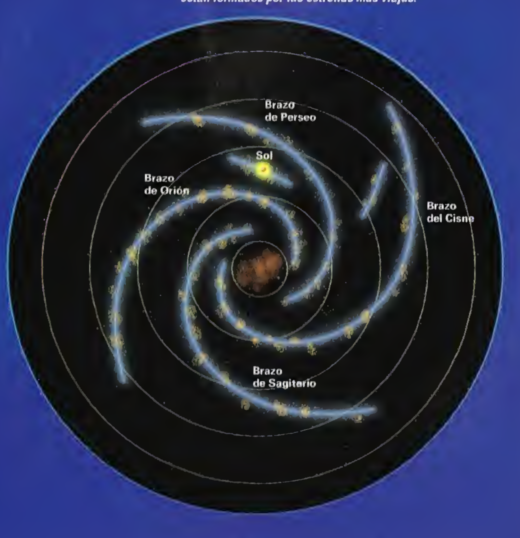
LOS CÚMULOS ABIERTOS

Los diagramas HR de los cúmulos abiertos, en cambio, tienen secuencias principales mucho más largas. Esto significa que son sistemas estelares constituidos por estrellas más jóvenes, estrellas que, en realidad, todavía no han abandonado la secuencia principal del diagrama porque en sus regiones centrales aún disponen de mucho hidrógeno para quemar. Por esto, actualmente los astrónomos interpretan las diferencias entre los diagramas HR de los diversos sistemas estelares gracias al hecho de que los dos tipos de sistemas estelares están formados por poblaciones diferentes de estrellas. La introducción del auténtico concepto de población arranca de los años cuarenta y se debe a W. Baade. Baade observó que las estrellas más brillantes de la galaxia de Andrómeda y de algunas galaxias elípticas eran de color rojo, mientras que las estrellas que ocupan los brazos espirales eran azules.

ESTRELLAS ROJAS Y ESTRELLAS AZULES

El color de las estrellas depende de su temperatura superficial. Cuanto más caliente es la superficie de una estrella, más azul es su coloración. Pero no sólo esto: si observamos un diagrama HR, descubriremos que cuanto más luminosas son las estrellas –y, por tanto, más masivas–, más azul es su color. En cambio, las estrellas menos luminosas son menos masivas, más frías y más rojas. Dado que cuanto más masivas son las estrellas más rápidamente envejecen –y más rápidamente mueren–, podemos deducir que una estrella de color azul es todavía joven. No se observan estrellas azules que hayan nacido al mismo tiempo que las estrellas más rojas, porque éstas ya han muerto hace mucho tiempo. Si vemos estrellas azules significa que son estrellas jóvenes, es decir, de población I. Esta diferencia en los colores de las poblaciones estelares puede percibirse muy bien examinando las estrellas de los cúmulos globulares, que, en realidad, son rojas, mientras que las estrellas más brillantes de los cúmulos abiertos son azules, como azules son las estrellas que forman los brazos de las galaxias espirales.

Abajo, esquema de nuestra Galaxia con los cúmulos globulares en rojo y los brazos espirales en azul para indicar los colores de las diversas poblaciones estelares. Las estrellas más jóvenes nacen en los brazos espirales de la Galaxia, en regiones de alta densidad, donde los gases y la materia interestelar están comprimidos a densidades tales que provocan el colapso gravitatorio y el nacimiento de nuevas estrellas. Las estrellas recién nacidas tienen color azul; el de los cúmulos globulares es rojo porque están formados por las estrellas más viejas.



El cúmulo globular M5 (NGC 5904), en la constelación de la Serpiente (arriba), se encuentra a 27.000 a.l. Su magnitud aparente es de 6,2.

LAS POBLACIONES EN NUESTRA GALAXIA

La identificación de diversas poblaciones estelares se basa también en las otras propiedades que diferencian las estrellas, las más importantes de las cuales son su composición química, su localización en el interior de la Galaxia y su tipo de movimiento alrededor del centro galáctico.

Todas estas diferencias han permitido afirmar que existen poblaciones estelares muy distintas. Su diversidad puede resumirse diciendo que, al hablar de estrellas de población II, nos estamos refiriendo a estrellas viejas, que carecen de metales en su composición química, ocupan el halo de nuestra Galaxia y se mueven alrededor del centro galáctico en órbitas marcadamente elípticas que cortan el plano de la Galaxia. En cambio, las estrellas de población I son más jóvenes, tienen contenidos metálicos superiores, se encuentran en el disco de nuestra Galaxia y en los brazos espirales, y se mueven alrededor del centro galáctico en órbitas casi circulares que están en el plano de la Galaxia.

Por tanto, las diferencias entre ambas poblaciones son sustanciales y en ningún modo consecuencia de un injustificado deseo de clasificación.

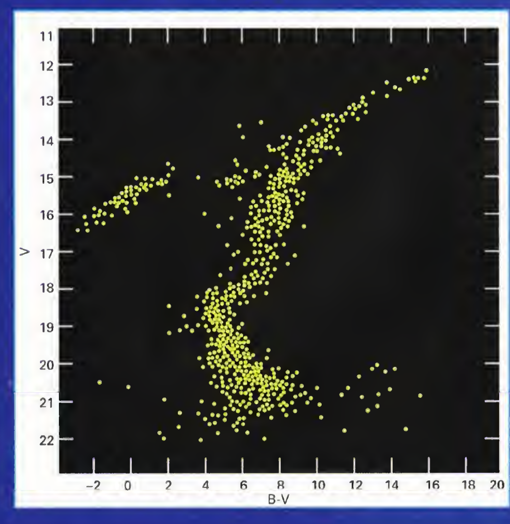
LAS PROPIEDADES DE LAS DOS POBLACIONES

La identificación de las diferencias entre las estrellas de nuestra Galaxia ha permitido la formulación y el desarrollo de las teorías sobre el modo en que ésta se ha formado. Sólo a la luz de estas teorías es posible comprender por qué, por ejemplo, las estrellas más viejas están en los cúmulos globulares y en el núcleo galáctico, mientras que las más jóvenes se hallan en los brazos espirales.

EL NACIMIENTO DE NUESTRA GALAXIA

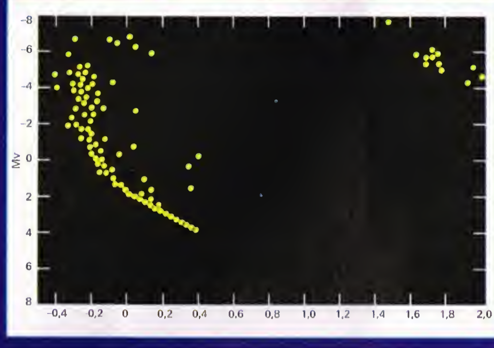
Puede pensarse que la Galaxia nació de la progresiva contracción de una enorme masa de materia, una

El diagrama HR de un cúmulo globular es típico de las estrellas de población II. El de abajo corresponde al cúmulo globular M5.



Arriba, espectacular fotografía del famoso par de cúmulos h y χ Persei.

nube casi esférica constituida esencialmente por hidrógeno y una cierta cantidad de helio. Con la paulatina contracción de la nube se formaron los cúmulos globulares, que fueron a ocupar la región de simetría esférica alrededor del centro galáctico y que llamamos «halo». Luego, progresivamente, la materia se fue concentrando cada vez más y adquiriendo una forma más achatada: el disco galáctico. Por tanto, las estrellas del halo de la Galaxia son, por término medio, más viejas y más rojas que las estrellas del disco, que pertenecen a la población I.



El diagrama HR de un cúmulo abierto es característico de las estrellas de la población de disco. El diagrama que se reproduce a la derecha fue elaborado para los cúmulos h y χ Persei.



Arriba, la galaxia espiral M81 (NGC 3031), en la Osa Mayor. En galaxias de este tipo, los brazos espirales están formados por estrellas azules, nacidas en regiones de formación reciente.

LA «METALICIDAD» DE LAS POBLACIONES

Las estrellas de los cúmulos globulares tienen, además, contenidos químicos diferentes de las estrellas de población I: su contenido metálico es inferior. En astrofísica se llaman metales todos los elementos químicos que no son hidrógeno ni helio. La mayor parte de los metales procede de la nucleosíntesis estelar, es decir, son elementos que se sintetizan en el interior de las estrellas durante las reacciones nucleares con las cuales los astros se mantienen en vida. En realidad, lo que primero quema una estrella es el hidrógeno que hay en su núcleo, convirtiéndolo en helio. Cuando se ha consumido la mayor parte del hidrógeno, empiezan a producirse las reacciones nucleares que queman el helio y forman carbono, y así sucesivamente según una cadena de reacciones nucleares que da origen a tantos más elementos cuanto más masiva es una estrella. En las estrellas de pequeña masa, las reacciones se detienen con la combustión del helio; en las de masa superior a 10-12 veces la masa del Sol, prosiguen hasta la formación de hierro.

ENRIQUECIMIENTO DEL MEDIO INTERESTELAR

Cuando una estrella de este tipo muere explosionando como supernova, los elementos que produjo en el núcleo durante toda su vida se dispersan en el espacio interestelar y, de este modo, enriquecen la materia interestelar en contenido metálico. Las estrellas que se forman a partir de esta materia enriquecida tendrán un contenido metálico superior a las estrellas que las precedieron. De ahí que las estrellas de población II, más viejas, presenten, por término medio, contenidos metálicos inferiores a las estrellas de población I, más jóvenes.

DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTRELLAS EN LA GALAXIA

Las estrellas de población II del halo tienen, además, movimientos muy diferentes de las estrellas de población I: el halo es la estructura de simetría esférica que rodea nuestra Galaxia. Está poblado por los cúmulos globulares y por otras estrellas viejas. Las órbitas de los cúmulos globulares son elípticas y hacen que, periódicamente, los cúmulos atraviesen y corten el disco de la Galaxia. El efecto de las fuerzas de marea del disco galáctico sobre un cúmulo globular puede, con el tiempo, provocar la disgregación del propio cúmulo. En cambio, las estrellas de población I que constituyen el disco galáctico tienen órbitas muy similares a las de los planetas de nuestro sistema solar: se mueven prácticamente en el plano galáctico en órbitas circulares alrededor del centro de nuestra Galaxia.

EL HALO Y EL DISCO

Como en la Galaxia existen diversas localizaciones de las estrellas que forman las diversas poblaciones,

PROPIEDADES DE LAS POBLACIONES ESTELARES

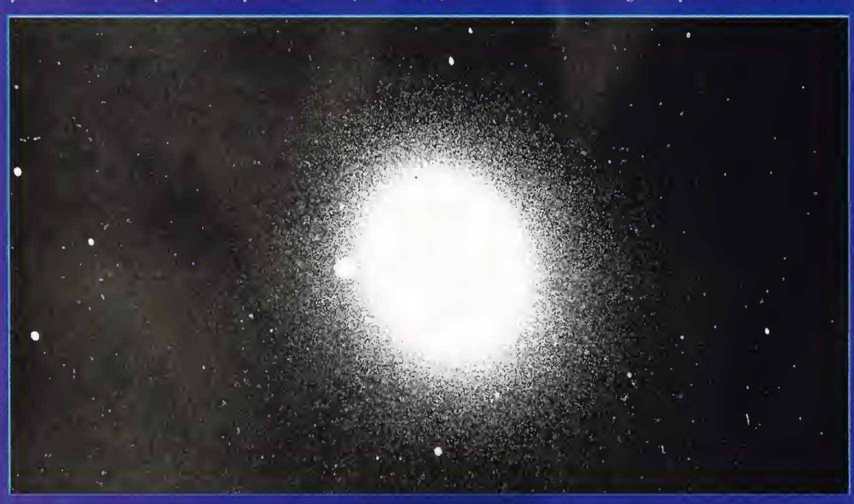
POBLACIÓN	EDAD	VELOCIDAD W	DISTANCIA MEDIA AL PLANO GALÁCTICO
Población de halo (cúmulos globulares)	10-15 millones de años	75 km/s	7.000 a.l.
Población de disco	menos de 10 millones de años	18 km/s	1.200 a.l.
Población I extrema	estrellas de formación reciente en los brazos espirales	8 km/s	500 a.l.

puede afirmarse que la población I es una «población de disco» –entendiendo por «disco» el de nuestra Galaxia–, mientras que la población II es una «población de halo». También el núcleo de la Galaxia está constituido por estrellas viejas, de población II. Por tanto, las estrellas de las dos poblaciones tienen dos distribuciones diferentes en el interior de la Galaxia, un hecho que puede cuantificarse con la altura sobre el plano galáctico, es decir, con la distancia de una determinada estrella al plano medio de nuestra Galaxia. De este modo, y dado que las estrellas de población I están dispuestas en el disco galáctico, tendrán una altura pequeña o casi nula sobre el plano de la Galaxia, mientras que las estrellas de población II presentarán una distribución casi simétrica alrededor de la Galaxia, y una notable altura respecto al disco, precisamente porque no están sobre él. Otra característica que distingue a ambas poblaciones es su velocidad: las estrellas de población I, que se mueven sobre el disco, tendrán una componente (W) de su velocidad muy baja en dirección perpendicular al disco, precisamente porque se mueven sobre él. Las estrellas de población II, que ocupan el halo y viajan cortando periódicamente el disco galáctico, tendrán, en cambio, una componente de la velocidad perpendicular al disco bastante elevada. Por eso, a veces se suele hablar de las estrellas de población II como de «estrellas de alta velocidad».

Abajo, la galaxia elíptica gigante M49 (NGC 4472), en la constelación de Virgo. En general, las galaxias elípticas son de color rojo: están formadas por estrellas viejas.

LAS POBLACIONES DE LAS OTRAS GALAXIAS

El estudio de las poblaciones estelares resulta fundamental cuando los astrofísicos observan las galaxias, que son objetos cuyas estrellas no estamos en condiciones de ver separadamente. Se observa que las galaxias elípticas son de color rojo, mientras que las espirales, especialmente sus brazos, son azules. Estos colores son el resultado de la suma de toda la luz emanada de las estrellas que forman parte de una galaxia determinada. Tales observaciones nos indican que, por término medio, las galaxias elípticas están formadas por estrellas viejas, ya que son rojas, mientras que en las galaxias espirales todavía hay materia interestelar suficiente para formar nuevas estrellas, que, por consiguiente, son más azules y más jóvenes. Pero esto no significa que las galaxias espirales sean más jóvenes que las elípticas, sino tan sólo que estas últimas ya no tienen materia interestelar para crear nuevas estrellas. Realmente, en astrofísica el problema de la formación y evolución de las galaxias permanece todavía abierto.



PISCIS

Situada en la región llamada de las «Aguas celestes», la constelación de Piscis es la última de las constelaciones zodiacales.



Piscis, cuyos orígenes se remontan a la antigüedad más remota, pertenece a la familia de las constelaciones relacionadas con el agua, probablemente porque son visitadas por el Sol en el período de grandes lluvias en las zonas que las instituyeron.

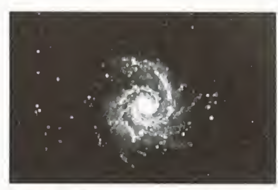
Actualmente, en Piscis se encuentra el punto equinoccial de primavera.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Piscis está encajonada entre las constelaciones de Andrómeda, el Triángulo, Aries, la Ballena, Acuario y Pegaso, y no es muy difícil encontrarla al sureste del gran cuadrado de esta última.

ESTRELLAS PRINCIPALES

El astro más luminoso de la constelación es Eta (magnitud 3,6), de color amarillo.



La galaxia M74, con su característica forma espiral, está a una distancia de la Via Láctea que se calcula entre los 20 y los 30 millones de a.l.

Alfa, en cambio, aunque es superada en esplendor por otras estrellas, se muestra como una bella doble formada por dos estrellas de magnitudes 4,3 y 5,2, con un período orbital de 720 años. Para separarlas con cierta facilidad, hay que disponer de un telescopio de unos 10 cm de abertura, tanto más cuanto que actualmente su separación, inferior a 2", está disminuyendo. Alfa también es conocida como Al Rischa, que significa «la cuerda». En los atlas históricos aparece a mitad de la cinta que une las colas de los dos peces celestes.

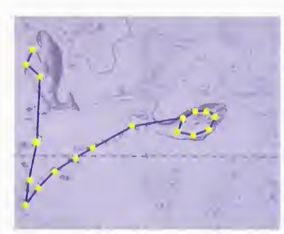
Más fácil de resolver es Zeta, formada por un par de estrellas de magnitudes 5,6 y 6,5, separadas por un ángulo de 23".

La estrella que lleva el número de Flamsteed 19 podría parecer a simple vista una insignificante estrellita de magnitud 5. En realidad, se trata de una estrella «de carbono», es decir, una estrella cuya temperatura superficial es tan fría que muestra en su espectro abundantes rayas de carbono. Este astro es, dentro de su tipo –bastante raro–, uno de los pocos casos detectables a simple vista. Se conoce también con las siglas TX y es una variable entre las magnitudes 4,8 y 5,2.

OTROS OBJETOS DE PISCIS

En Piscis encontramos una galaxia que entra en el catálogo confeccionado en el siglo XVIII por Charles Messier: es M74, no lejos de la estrella Eta. Se trata de una bella espiral de décima magnitud, visible casi de frente, de manera que podemos apreciar sus amplios «brazos». Muestra toda su belleza en las fotografías de larga exposición, mientras que en observación directa resulta decepcionante, especialmente si se ve a través de instrumentos de pequeño diámetro. Al telescopio se muestra como un pequeño mechón vagamente luminoso y poco contrastado con el fondo celeste.

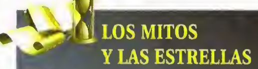
Otra galaxia remarcable es NGC 488, de décima magnitud.



Los peces que forman la constelación de Piscis suelen representarse atados con una cinta que une sus colas.



NGC 488 es una galaxia elíptica que destaca en la constelación de Piscis.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

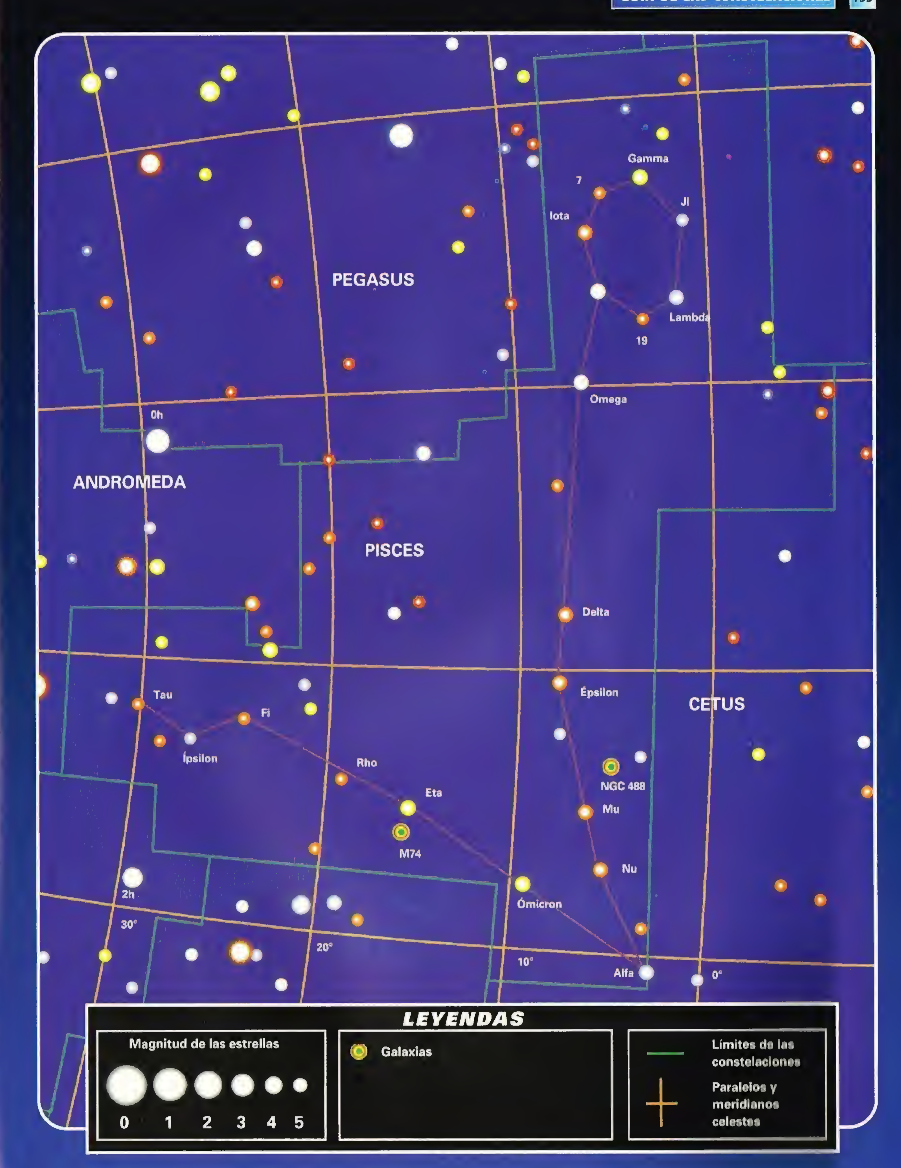
PISCIS

Sobre la constelación de Piscis hay varias leyendas. Una de ellas nos recuerda la guerra entre los dioses y el monstruo Tefeo, generado por Gea. Tefeo era una criatura tan horrible que asustaba a los mismos dioses. El primero en darse cuenta de su llegada fue Pan, que se transmutó en un animal mitad cabra y mitad pez, y se zambulló en un río. La transformación de Pan es recordada en la cercana constelación de Capricornio. En cambio, Piscis nos recuerda que, al ser acometidos por el monstruo, Afrodita y su hijo Eros buscaron refugio, al igual que Pan, en un río. Según una versión de este mito, los dos fugitivos se transformaron en peces; según otra versión, fueron salvados por dos peces. Poco después, Tefeo fue derrotado por Júpiter.

DÓNDE BUSCARLA

PISCIS

La constelación de Piscis puede observarse durante gran parte del otoño. Se recorta sobre el horizonte sur y pasa por el meridiano a medianoche entre mediados de septiembre y mediados de octubre, periodo en el cual se encuentra en oposición al Sol. Dado que el punto equinoccial viene determinado por el encuentro entre la eclíptica y el ecuador celeste, Piscis, que contiene este punto, es observable desde gran parte del planeta. Abarca una región del cielo comprendida entre las 22 horas 49 minutos y las 2 horas 4 minutos de ascensión recta, y entre 6° S y 33° N de declinación.


PEGASUS
Gamma
7
Iota
JI
Lambda
19
Omega
0h
ANDROMEDA
PISCES
Delta
Tau
Fi
Épsilon
CETUS
Ípsilon
Rho
NGC 488
Eta
Mu
M74
Nu
2h
Ómicron
30°
20°
10°
Alfa
0°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0
1
2
3
4
5
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

ASÍ NACIÓ LA ASTRONÁUTICA

Con un lacónico comunicado de Radio Moscú, que sorprendió al mundo entero, no preparado para la noticia, los soviéticos comunicaron que el primer satélite construido por el hombre había sido lanzado a la órbita terrestre. Un mes después, enviaron hasta más allá de la atmósfera al primer ser vivo: la perrita Laika.



Son las 23, hora de Moscú, del 4 de octubre de 1957. La radio de la capital soviética envía a las ondas su boletín de informaciones en inglés. Escogiendo muy bien las palabras, el locutor lee un comunicado que permanecerá para siempre en la historia del hombre: «El primer satélite artificial de la Tierra ha sido lanzado con éxito, y ahora está girando alrededor de nuestro planeta con una trayectoria elíptica, a una altura de 900 km aproximadamente. El ingenio tiene forma esférica y su diámetro es de 58 cm. Pesa 83,6 kg y lleva en su interior un aparato radiotransmisor. Su nombre es Sputnik, que en ruso significa "compañero de viaje"».

Estas breves palabras anunciaron al mundo entero uno de los mayores acontecimientos de nuestro siglo.

La noticia se difundió a todos los países; los periódicos lanzaron una edición extraordinaria con titulares en grandes caracteres. En las horas que siguieron, las emisoras de radio interrumpieron varias veces sus programas para retransmitir en todas las lenguas los comunicados que Radio Moscú iba dando a conocer intermitentemente después del primer anuncio. De acuerdo con su estilo habitual, la Unión Soviética no facilitó muchos detalles.

El lanzamiento del Sputnik fue motivo de orgullo para los soviéticos, que con él conseguían adelantar a los estadounidenses en la «carrera espacial».





Con la puesta en órbita del Sputnik-1, el 4 de octubre de 1957, nacía la era de la astronáutica. El satélite era una esfera de la que sobresalían cuatro antenas de 2,4 a 2,9 m de longitud. Su misión principal era demostrar la posibilidad de colocar objetos fuera de la atmósfera terrestre y de poder comunicar con ellos.

En general, se intentó descifrar todo lo posible de los esporádicos comunicados soviéticos, aunque lo más evidente era que, a pesar de la falta de detalles, un cohete había colocado un satélite fuera de la atmósfera.

UNA SEÑAL DESDE EL ESPACIO

La gran aventura del hombre en el espacio, soñada desde siempre, había empezado.

Pero la emoción fue todavía más intensa cuando, en un enésimo comunicado, el locutor, en tensión máxima, hizo oír una extraña señal de fondo, de tono más bien agudo, que se repetía a intervalos regulares.

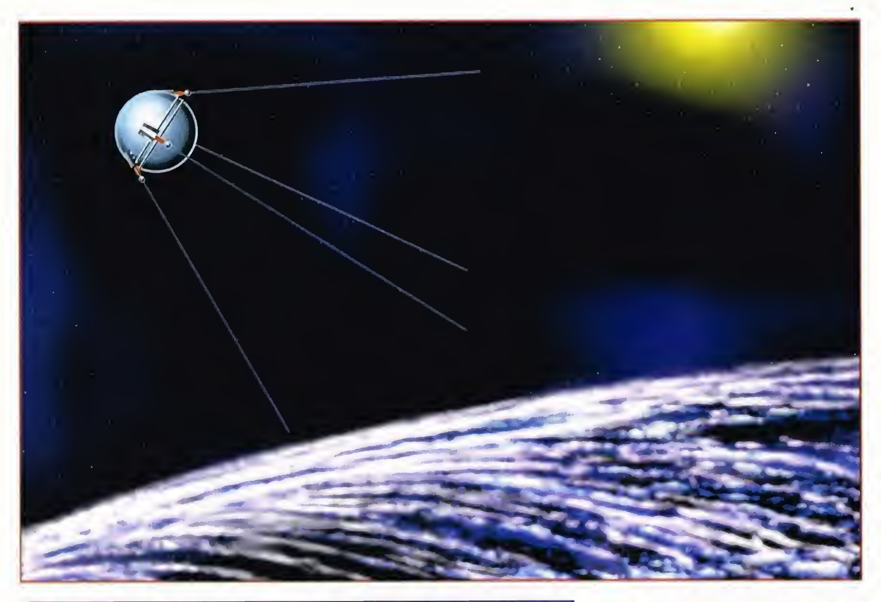
Era transmitida continuamente en una de las dos radiofrecuencias del aparato transmisor del satélite. En todo el mundo, dondequiera que existiese una instalación radiorreceptora debidamente dispuesta, podía sintonizarse, captarse y registrarse el *bip-bip* de la pequeña cápsula. Si en un primer momento habían existido dudas sobre el éxito de la empresa, llegado aquel momento ya no había motivo para albergarlas: la señal procedía de un punto en movimiento en el espacio, más allá de la atmósfera, a la velocidad de 28.000 km/h, y a lo largo de una órbita de altura variable entre 400 y 900 km.

La interpretación todavía no era correcta: faltaba la clave para descifrar las señales de radio, que, evidentemente, eran transmitidas en código. Pero no fue éste el único misterio del Sputnik-1.

Los científicos soviéticos, tanto en las entrevistas oficiales concedidas a la agencia estatal TASS, como en las conversaciones telefónicas frenéticamente solicitadas por la prensa occidental, fueron muy reservados.

La superficie externa del satélite, una brillantísima aleación de aluminio, permitía su observación también desde la Tierra.





EL SPUTNIK-1

El aspecto exterior del Sputnik-1 era el de una esfera de la que sobresalían cuatro antenas de radio de longitud variable: entre 2,4 y 2,9 m.
La esfera, con los aparatos instalados en su interior, se llenó de nitrógeno. Uno de los experimentos más importantes, además del envío a la Tierra de señales de radio, fue estudiar la densidad de los meteoritos presentes alrededor de nuestro planeta. Si algún meteorito hubiese perforado, aunque sólo fuera mínimamente, el envoltorio de la cápsula, habría descendido la presión interna poniendo en funcionamiento algunos aparatos conectados con los transmisores. Gracias a las señales de radio recibidas, los científicos pudieron determinar la densidad de los meteoritos presentes en el espacio.
A la superficie exterior del satélite, una aleación de aluminio, se le dio brillo de espejo: así se obtuvo una buena reflexión de la luz solar, que permitía la observación óptica desde la Tierra. La inclinación del plano orbital respecto al del ecuador terrestre era de unos 65°, lo que permitió al satélite sobrevolar gran parte de la Tierra, con excepción de los polos. En el momento de la colocación en órbita, la velocidad era de unos 28.000 km/h. El perigeo estaba a 225 km de altura y el apogeo a 947. El tiempo que empleaba en efectuar una vuelta completa alrededor de la Tierra era de 96 minutos. Presumiblemente, el primer satélite artificial fue lanzado hacia el noreste desde una zona no precisada de la Unión Soviética, zona que científicos occidentales creyeron situada un poco al norte del mar Caspio. Los técnicos soviéticos no especificaron las características del cohete lanzador. Sin embargo, según cálculos de expertos occidentales, el Sputnik estaba formado por tres elementos: los dos primeros cayeron al mar, el primero después de haber llegado a una altura de 80 km; el segundo, desde una altura de 500 km. El tercero, al menos durante algún tiempo, siguió a la esfera en su rotación alrededor de la Tierra. Los datos orbitales, no comunicados por los soviéticos, los obtuvo en unos veinte segundos el Smithsonian Observatory de Cambridge, en Massachusetts, gracias a un ordenador.

El Sputnik-1 fue puesto en una órbita terrestre que estaba comprendida entre los 225 y los 947 km de altura. Su inclinación respecto al ecuador era de 65°. Esto le permitía pasar por encima de la mayor parte de las tierras emergidas. Empleaba unos 96 minutos en dar una vuelta entera.

No se reveló la potencia del cohete lanzador del satélite, como tampoco el período de vida previsto para el Sputnik. Alguien dijo que podría convertirse en un «pequeño planeta» orbitando alrededor de la Tierra.

El lanzamiento del Sputnik-1 relegó a un segundo plano cualquier otro acontecimiento.

No se trataba de la acostumbrada curiosidad del gran público, porque incluso los profanos se dieron cuenta de que estaban ante un acontecimiento grandioso para la historia de la humanidad y quisieron seguir su desarrollo con todo detalle.

El 8 de octubre, cuatro días después del lanzamiento, las señales de radio del satélite cesaron. Inmediatamente se temió que pudiera precipitarse a la Tierra.

Pero el misterio fue aclarado aquel mismo día por el director del Observatorio Astronómico de Cambridge (Gran Bretaña),

A la izquierda, el Sputnik-2. Fue puesto en órbita terrestre con una inclinación respecto al ecuador de 65°, exactamente igual a la del Sputnik-1, pero su altura oscilaba entre 225 y 1.671 km de altura. Además de Laika, el Sputnik-2 llevaba a bordo instrumentos para el estudio de los rayos ultravioleta y los rayos X.

quien comunicó que la esfera permanecía en el espacio, aunque en una órbita más baja que la comunicada por los soviéticos: de 400 a 700 km.

Por tanto, ¡no había caído! Su súbito silencio había que atribuirlo simplemente al agotamiento de las baterías de alimentación del aparato transmisor.

Luego, los científicos soviéticos declararon que esto ya se había previsto, pero que en los cuatro días en los que había trabajado a pleno ritmo, el Sputnik había enviado todas las informaciones que de él se esperaban.

SPUTNIK-2

Mientras los estadounidenses no conseguían asimilar la «afrenta» que les habían infligido los soviéticos, éstos, el 3 de noviembre de 1957, sólo un mes después del primer lanzamiento, enviaron al espacio un potente cohete lanzador con otro satélite: el Sputnik-2. Esta vez el satélite no sólo era más grande y pesado que el primero, sino que llevaba a bordo un ser vivo, el primero que cruzaba los confines de la atmósfera.

LAIKA: EL PRIMER VIAJERO ENTRE LAS ESTRELLAS

El primer viajero espacial de la historia fue una perrita siberiana. Se llamaba Laika, tenía dos años y pesaba unos 18 kg.

Laika fue acondicionada en un contenedor especial estanco. En su cuerpo se habían fijado electrodos terminales de diversos instrumentos que registraban y enviaban a la Tierra, por radio, los latidos de su corazón, la frecuencia de la respiración, la temperatura corporal y la tensión arterial. Los datos que se transmitían confirmaban, además, que Laika no había sufrido daños en la primera fase del lanzamiento y que se hallaba en condiciones óptimas.

Pocos seres vivos habían suscitado, en un tiempo tan breve, un interés tan grande ni provocado tanta conmoción. Cada día se esperaban nuevas noticias sobre la pequeña Laika. Muchas asociaciones protectoras de animales, sobre todo en los países anglosajones, temían por su salud. Pero, desde el principio, pocos se hacían ilusiones respecto a la suerte que los científicos le habían reservado. No faltaban, sin embargo, los que esperaban que la perrita regresara incólume a la Tierra.

Llegaban noticias constantes sobre Laika: varios comunicados soviéticos informaron al mundo occidental de las condiciones del animal: eran buenas e incluso se hablaba de su probable retorno a la Tierra (según declaración del embajador soviético en Bonn, Smirnov).

Pero el destino del animal estaba decidido: el 12 de diciembre, Moscú

Esta perrita siberiana (abajo) fue el primer ser vivo enviado oficialmente al espacio. Laika –su nombre pronto fue famosísimo– tenía dos años y pesaba unos 18 kg. Pero desde su partida su destino estaba decidido: no podría volver a la Tierra, por lo que fue envenenada antes de que se agotara el oxígeno y el alimento de a bordo. Su muerte, según aseguraron los soviéticos, fue absolutamente indolora.



Representación artística del Sputnik-2 llevando a bordo a Laika. Para los soviéticos, esta misión constituyó el inicio de un ambicioso proyecto: mandar hombres al espacio.

anunciaba que «la perrita murió antes de que los aparatos dejaran de funcionar». En el comunicado se decía que, según lo previsto, se había matado a Laika mediante una pequeña ampolla de gas venenoso hecha explosionar en el interior de la cápsula.

El lanzamiento del Sputnik-1 y del Sputnik-2 significó una grave afrenta para la tecnología estadounidense, aunque, desde el punto de vista de la investigación electrónica, Estados Unidos era sin duda alguna un país mucho más avanzado.

Precisamente este factor permitió a los estadounidenses una rápida recuperación en los meses siguientes, ya que muy pronto pudieron enviar sus satélites al espacio y, más tarde, sus astronautas a la Luna.



Éste es el misil, fotografiado en el polígono ruso de Plesetsk, que lanzó el Sputnik-1. Todavía se sigue utilizando.

EL SPUTNIK-2

El peso del segundo satélite lanzado por los soviéticos, que formaba un todo único con la última fase del cohete lanzador, era de 508,3 kg. La inclinación del plano orbital era de 65°, como la del Sputnik-1; su altura, 225 km en el perigeo y 1.671 en el apogeo. Dada la mayor distancia a la Tierra en el punto de apogeo, la órbita resultó muy alargada respecto a la del Sputnik-1.

Como la velocidad era la misma, aumentó el período de rotación, que llegó a ser de 103 minutos.

Sobre un bastidor adecuado, dispuesto en la cabeza del misil, había dos aparatos: uno para los rayos ultravioleta y el otro para los rayos X, que el satélite podía detectar en la luz solar. Bajo estos dispositivos habia un cuerpo esférico, análogo al del Sputnik-1, equipado con varios aparatos de radio. Finalmente, también contenía un recipiente cilíndrico: el habitáculo de Laika, que, además de albergar a la perrita, llevaba la reserva de alimentos, un sistema automático de acondicionamiento de aire, dispositivos para la medición de la temperatura y la presión de la cabina, y aparatos de control de algunas funciones fisiológicas del animal. En la parte terminal del cohete lanzador, se habían colocado las baterías eléctricas, los detectores de rayos cósmicos y un completo equipo radiotelemétrico para enviar a la Tierra los datos recogidos por el satélite en el espacio.

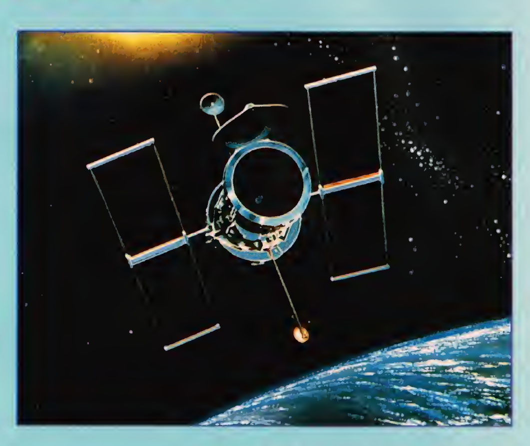
El Sputnik-2 se desintegró el 14 de abril de 1958, unos tres meses después del final de la misión del Sputnik-1 (4 de enero de 1958).

EL PROGRAMA ORÍGENES

Descubrir los orígenes del universo, del sistema solar, de la vida: estos ambiciosos objetivos constituyen la base del Programa Orígenes, un proyecto de la NASA que pretende estimular la curiosidad de las personas corrientes y, al mismo tiempo, solicitar la financiación necesaria para la investigación.

En los dos últimos años, los científicos de la NASA han empezado a concebir un plan muy ambicioso, a largo plazo, para responder a unas cuestiones fundamentales que, para la astronomía y la astrofísica de nuestros días, son todavía cuestiones abiertas: nacimiento y evolución de las galaxias, de las estrellas, de los planetas y de la vida en ellos.

La primera serie de preguntas se refiere al nacimiento del universo: ¿cómo se inició y cómo era originariamente? La segunda, derivada de la primera, concierne a la formación de las galaxias, que son los elementos fundamentales de la estructura del cosmos. En particular, se quiere descifrar qué mecanismos condujeron a su formación y cómo fueron las primeras fases de su evolución. Se llega después a las preguntas que más de cerca conciernen al hombre, a la ciencia y a la filosofía. ¿Existen otros planetas habitables aparte de la Tierra? Y, en caso afirmativo, ¿se ha desarrollado vida en ellos?



El telescopio espacial de nueva generación, imaginado en el dibujo artístico de arriba, representa la evolución natural del telescopio espacial Hubble, el cual ha revolucionado los conocimientos en el campo de la astrofísica. Este nuevo instrumento debería permitir dar otro paso adelante, con observaciones del universo cada vez más lejanas y que, por tanto, nos aproximarían cada vez más al Big Bang.

La Space Interferometry Mission representa el segundo paso del Programa Orígenes. Se trata de un observatorio orbital formado por siete telescopios. Con él será posible efectuar medidas de posición con la exactitud de unas diezmillonésimas de segundo de arco para fuentes de hasta la vigésima magnitud. Además, debería abrir el camino a otros interferómetros orbitales todavía más potentes.



TRES PROYECTOS PARA UN OBJETIVO ÚNICO

Para responder a todas estas preguntas, el Programa Orígenes se propone desarrollar y realizar, en las dos primeras décadas del nuevo milenio, instrumentaciones astronómicas mucho más potentes que las actuales. La NASA espera poner en práctica tales objetivos siguiendo tres proyectos, cada uno de los cuales cuenta con su correspondiente comité responsable.

El primero es el del telescopio espacial de nueva generación (NGST, Next Generation Space Telescope), un telescopio orbital de casi 8 m de diámetro, capaz de llevar sus observaciones hasta las fases iniciales de vida del universo. Naturalmente,



El último paso del Programa Orígenes será el Planet Finder, representado arriba en una imagen artística. Consistirá en cuatro telescopios colocados muy lejos de la Tierra, aproximadamente a la distancia de Júpiter, para aprovechar la baja temperatura de aquellas regiones, lo que permitirá que el instrumento trabaje mejor. Con esta misión, los astrónomos pretenden averiguar cuáles de los nuevos planetas descubiertos pueden albergar vida.

hasta entonces se mantendrá operativo el actual telescopio espacial, cuya vida se prevé que continúe al menos hasta el 2005, aunque se cree que será posible prolongarla.

El NGST podrá observar las galaxias más lejanas, y por tanto más jóvenes, para descubrir los procesos que han llevado a su formación. Además, estará equipado para efectuar observaciones en infrarrojo, necesarias para ver mejor aquellas jóvenes galaxias, cuya luz es de color «rojizo» por su larguísimo viaje en el espacio-tiempo. Por otra parte, siempre en infrarrojo, será posible explorar más a fondo las regiones de formación estelar ya descubiertas por el telescopio espacial Hubble.

Las galaxias lejanas, como las que se muestran en la imagen de abajo, presentan diferencias morfológicas y de composición respecto a las más próximas. Obviamente, estas diferencias se deben a sus distintas edades, ya que las galaxias lejanas aparecen como eran en su «juventud». El Programa Orígenes tiene entre sus objetivos la comprensión de los mecanismos que coordinan los complicados procesos de formación de las galaxias.

DESPUÉS DE LAS GALAXIAS, LOS PLANETAS...

El segundo proyecto tiene por objetivo desarrollar el interferómetro espacial (SIM, Space Interferometry Mission). Se trata de un instrumento compuesto de siete partes separadas que funcionan al unísono según el principio bien conocido de la interferometría, ampliamente aplicada a las técnicas radioastronómicas, por medio de la cual las imágenes recogidas por distintos instrumentos se combinan para mejorar su resolución, es decir, la posibilidad de ver detalles finos. Cuanto mayor es la distancia entre los diversos elementos del instrumento, mejor es la resolución. Estará en condiciones de medir las posiciones de objetos celestes hasta la vigésima magnitud con una precisión del orden de diezmillonésimas de segundo de arco (es decir, al menos diez mil veces mejor que con los instrumentos actuales).

Con el SIM será posible detectar la presencia de planetas de tamaño similar al de la Tierra, en órbita alrededor de estrellas próximas. Además de la exactitud de las medidas de posición, permitirá determinar la distancia a las estrellas de nuestra Galaxia, y quizá de las galaxias próximas, con una precisión jamás alcanzada, y dar el primer y definitivo paso para establecer la escala de medida de las distancias en el universo.

Y DESPUÉS DE LOS PLANETAS, LA VIDA

Finalmente, el objetivo del tercer proyecto, después del SIM, es el Planet Finder, es decir, el «localizador de planetas». Se materializará en un conjunto de cuatro telescopios, cada uno de ellos de más de un metro de diámetro, que se utilizarán en modo





La vida se ha desarrollado en la Tierra siguiendo un proceso que ha durado miles de millones de años y que ha producido una extraordinaria variedad de formas vegetales y animales. Los astrónomos creen que puede haber planetas de estrellas lejanas en los que se hayan dado las condiciones favorables para la vida aunque todavía no tengamos ninguna prueba concreta de ello. El objetivo del Programa Orígenes es resolver esta incógnita: ¿existen planetas habitados? Y si así fuera, ¿se ha desarrollado en ellos una vida inteligente como en la Tierra?

interferométrico optimizado para recoger la luz de los planetas situados fuera del sistema solar. La novedad consistirá en la ubicación de este instrumento, que se piensa colocar lejos de la Tierra, más o menos a la distancia del Sol a la que se encuentra Júpiter. A tal distancia, el Planet Finder se «sobrecongelará» de modo natural, a una temperatura de 40 K, de manera que la radiación emitida por el propio instrumento será mínima.

Como su nombre indica, el Planet Finder se dedicará a la localización de planetas. Pero no sólo esto: la luz infrarroja que envíe podrá analizarse al menos hasta 100 a.l. de distancia para ver si en aquellas atmósferas existen gases como el anhídrido carbónico, el vapor de agua o el ozono. Las informaciones acerca de estos compuestos químicos, combinadas con la temperatura y el radio de los planetas descubiertos, permitirán a los astrónomos determinar cuáles son habitables y, finalmente, si en alguno de ellos hay alguna forma primitiva de vida.

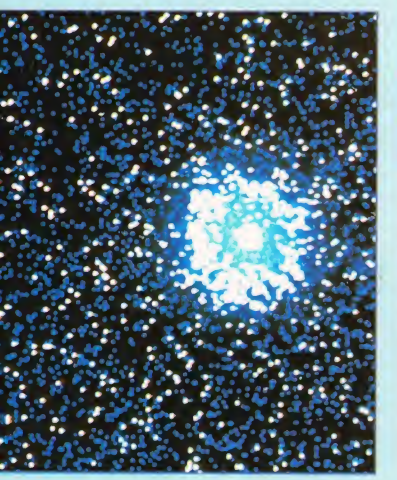
El Programa Orígenes es un programa realizable, no de ciencia ficción, que se propone dar respuesta a preguntas que van más allá de las simples cuestiones científicas y que se relacionan con otras disciplinas, como la filosofía, la sociología y la historia.

Estudiar el espacio para responder a las preguntas del hombre: una idea antigua y ambiciosa que está a punto de ponerse en práctica.

EL SIGNIFICADO DEL PROGRAMA ORÍGENES

«Los objetivos del Programa Orígenes –búsqueda de respuestas a las preguntas fundamentales sobre el universo y la vida misma– harán que la tecnología y la ciencia reescriban los libros de texto de física, química, biología y, quizá también, los de historia. Orígenes es uno de los retos más osados que ha tenido ante sí la NASA, y sus resultados podrían cambiar el modo de pensar de los seres humanos acerca del universo y del lugar que en él ocupan. Pero en Orígenes hay algo más, algo muy importante. Es un programa que ofrece esperanza, inspiración. Un programa como éste dice algo a nuestros hijos. Dice que Estados Unidos acepta riesgos, grandes riesgos. Dice que estamos invirtiendo en su futuro, en los beneficios que les llegarán en las próximas décadas. Dice que a nosotros, como nación, nos interesa algo más que la simple supervivencia: buscamos para nuestra gente algo más que la simple libertad, que su sustento físico y un techo sobre su cabeza. Orígenes dice que es importante añadir conocimientos al saber del género humano. Dice que nosotros, como país, exploramos, que descubrimos porque buscamos. Sea fácil o difícil, penetraremos en los misterios del universo y transmitiremos a nuestros hijos los dones de nuevos conocimientos.»

Daniel S. Goldin, Administrador de la NASA, 22 de mayo de 1996.



Los cuásares (en la imagen de la izquierda puede verse 3C273), con las radiogalaxias, son los objetos que pueblan los confines del universo observable. Hoy se sabe que, en realidad, son galaxias jóvenes y muy activas, en cuyos núcleos se ocultan quizá agujeros negros. Su observación con los instrumentos de nueva generación debería proporcionar respuestas sobre las fases iniciales de la vida del universo.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

URANO: ANILLOS Y SATÉLITES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

NEBULOSAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

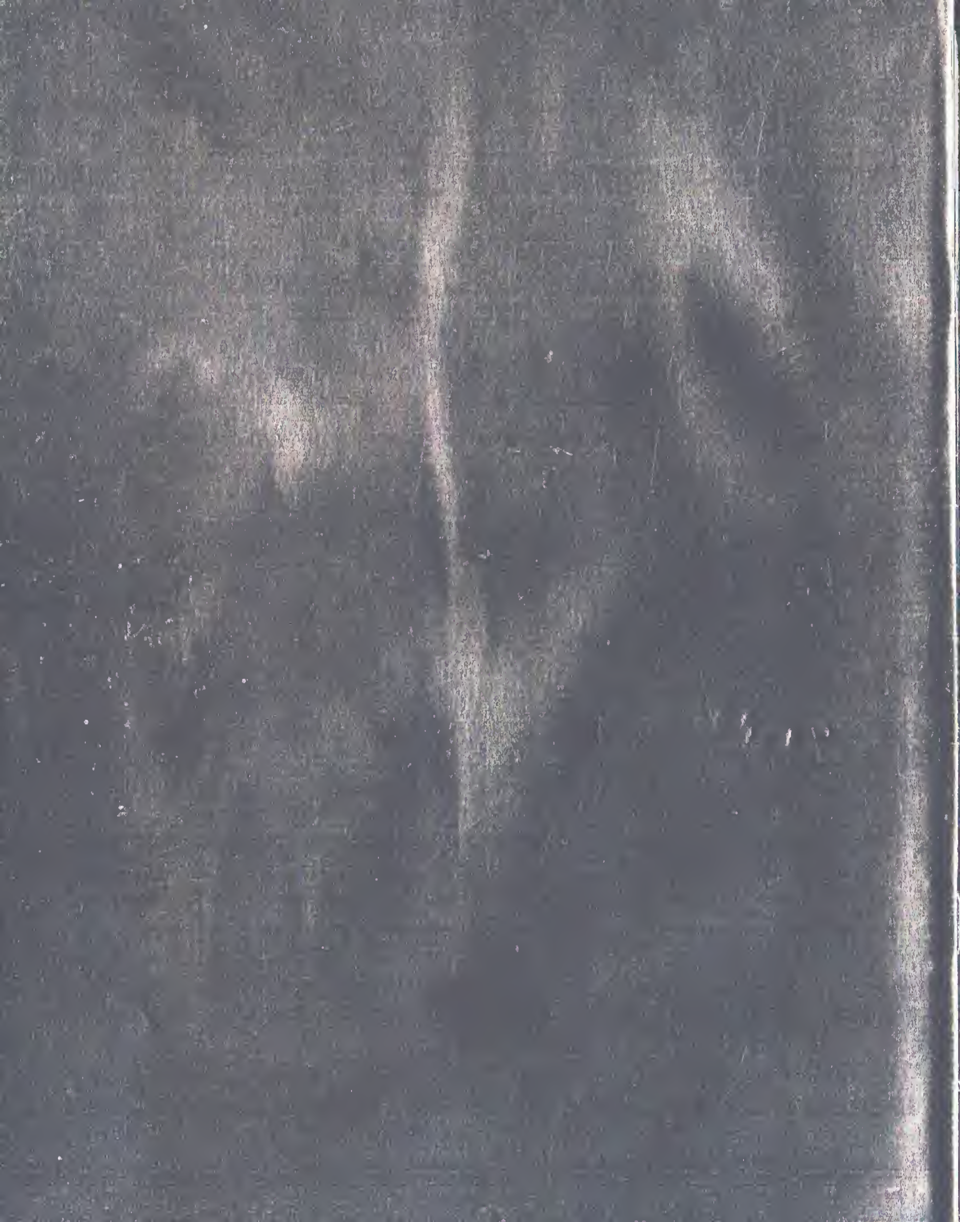
EL LEÓN MENOR

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

EL USO DEL ESPACIO

APOLLO 9 Y 10



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

56



9 788439 554219 10056

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinstock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

Nº PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

/ / / / / / / / /

/ / / / / / / / /

N.º de tapas que solicita: ______

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

URANO: ANILLOS Y SATÉLITES

Urano posee anillos. No son resplandecientes como los de Saturno, pero confirman la naturaleza común de los planetas alejados del Sol. Las cinco lunas que han sido examinadas con mayor detalle muestran superficies cubiertas de hielo con profundas fracturas, fallas y fosas tectónicas.



Una manera no oficial de referirse a los anillos de Urano es la que recurre a los siguientes nombres: 6, 5, 4, alfa, beta, eta, gamma, delta y épsilon (en orden de radio orbital creciente). Excepto eta, todos los anillos son excéntricos; excepto eta, gamma y épsilon, todos los anillos están inclinados. Los más inclinados, 6, 5 y 4, son también los más próximos al planeta: su máxima altitud

En esta imagen pictórica se ha representado Urano con sus anillos. El descubrimiento de los anillos se produjo en 1977 con un telescopio infrarrojo de 91 cm.



A la izquierda, panorama del sistema de anillos que rodea Urano. Su visibilidad es muy inferior a la de los anillos de Saturno.

sobre el plano ecuatorial de Urano oscila entre 24 y 46 km. Se trata también de los anillos más estrechos, con una anchura comprendida entre 1 y 3 km. Los datos recogidos desde la Tierra ponen de manifiesto que épsilon es con mucho el más ancho y excéntrico de todos. Su anchura oscila entre 20 y 96 km. La mayor parte de las observaciones realizadas desde la Tierra se refieren a épsilon, pues contiene alrededor del 70% de la superficie visible de los anillos.

En esta imagen próxima de los anillos se advierte la presencia de polvo entre un anillo y otro.



EL DESCUBRIMIENTO DE LOS ANILLOS

El sistema de anillos que rodea Urano fue descubierto casualmente en 1977. Los anillos fueron hallados mientras se estudiaba la ocultación de una estrella brillante por parte de Urano. Se descubrieron pequeñas variaciones de luminosidad de la estrella mientras se encontraba a una cierta distancia del disco del planeta. La conclusión a la que se llegó fue que las variaciones eran debidas a material situado en un anillo que oscurecía la luz de la estrella.

La presencia de los anillos fue confirmada más tarde por la nave espacial Voyager, que añadió otros dos a los nueve ya descubiertos desde la Tierra. El tamaño de las partículas que componen los anillos se puede estimar teniendo en cuenta cómo dispersan la luz del Sol y cómo influyen en las señales de radio de la nave.

El albedo de los anillos de Urano es extremadamente bajo (menos de 0,15),



En esta imagen se ven los satélites pastores (indicados por circulitos), que mantienen constante la órbita del anillo.

lo que explica que sean difícilmente visibles y que se hayan descubierto tan tarde.

Las partículas que componen los anillos tienen un tamaño de unos pocos centímetros y su superficie es irregular. Se han encontrado menos partículas pequeñas (del tamaño de una micra) que en los anillos de Saturno y muchas, en cambio, de bastantes centímetros de diámetro. Los anillos, de color gris, reflejan irregularmente la luz, por lo que quizás estén compuestos de polvo.

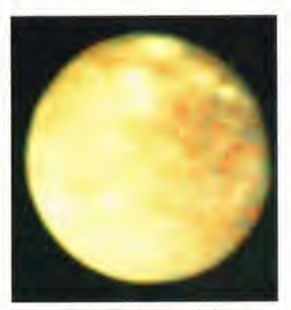
Probablemente tienen una antigüedad inferior a los 100 millones de años; tal vez son producto de la disgregación de una pequeña luna a causa de una colisión con un meteorito o un cometa, o por efectos de marea.

En el fotomontaje de abajo se ve Urano tal como aparecería si se observara desde Miranda (en primer plano).





Arriba, el satélite Titania visto desde una distancia de 500.000 km. Los más pequeños detalles visibles miden 9 km.



Arriba, el satélite Titania observado de cerca por las sondas; un 50% de su composición es hielo.



La superficie de Titania parece relativamente joven. En la imagen de arriba son visibles los procesos de remodelación del suelo.

SATÉLITES PASTORES

Las características de los anillos de Urano permiten un mejor conocimiento del origen de los sistemas de anillos de los gigantes gaseosos y de sus procesos dinámicos. Se esperaba encontrar hasta 18 pequeños satélites que gobernaran las órbitas de los delgados anillos.

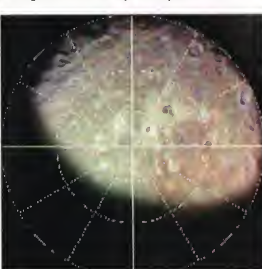
Dos de estos satélites pastores han sido hallados a ambos lados del anillo épsilon, el mayor de todos. El borde exterior de este anillo, que se interrumpe bruscamente, corresponde perfectamente a una de las posiciones de resonancia de uno de los dos satélites pastores. Lo mismo sucede con el borde interno y el otro satélite descubierto. Esta clase de interacción es similar a la que existe entre Mimas y el borde externo del anillo B de Saturno, pero difiere de la del estrecho anillo F de Saturno.

No se han encontrado los satélites pastores de los demás anillos de Urano, probablemente porque son demasiado pequeños (de diámetro inferior a 14 km) y tan oscuros como las partículas que componen los anillos.

De la semejanza del espesor de épsilon a diferentes longitudes de onda (radioondas o luz) se ha deducido que este anillo no contiene partículas de tamaño inferior a una decena de centímetros. El límite neto del anillo épsilon indica que su espesor es inferior a 150 m. La relativa escasez de partículas más pequeñas puede ser el resultado de la acción de la extensa atmósfera de hidrógeno del planeta.

La distribución de las partículas microscópicas de polvo es muy compleja y recuerda mucho la del anillo D de Saturno. Así lo comprobó la nave espacial Voyager 2 cuando atravesó el plano del anillo a 116 km del planeta y fue bombardeada por microscópicos proyectiles.

Mapa estereográfico polar de Oberón. En él, la longitud 0 está en la parte superior.



La superficie de Oberón, intensamente craterizada, no ha cambiado mucho desde los tiempos de su formación.



La mayor parte de los anillos varían muchísimo en anchura. Este hecho, junto a la posible presencia de numerosos arcos de anillos, sugiere que el sistema es muy joven, seguramente mucho más que Urano.

LOS SATÉLITES DE URANO

Antes del encuentro de la Voyager 2 con los sistemas de Urano, se conocían cinco satélites. Dos de ellos, Titania y Oberón, habían sido descubiertos por Herschel en 1787; Ariel y Umbriel fueron hallados en 1851 y Miranda en 1948. La Voyager permitió descubrir otras diez lunas, dos de las cuales, como ya hemos dicho, hacen de «pastores» para los anillos.

La nave espacial permaneció poco tiempo en las proximidades del planeta. La brevedad del encuentro entre la sonda y el sistema de Urano era una consecuencia no sólo de la velocidad de la Voyager 2 (72.000 km/h), sino también de la insólita disposición espacial del sistema de lunas de Urano. El eje de rotación de Urano tiene una inclinación muy especial, pues yace en el plano de la órbita. Es como si el planeta rodara sobre dicho plano. Por este motivo,

En el centro del disco de Oberón se observan algunos grandes cráteres de impacto recubiertos de material oscuro. También se pueden ver algunas bandas luminosas similares a las de Calisto (satélite de Júpiter).





A la izquierda, dos imágenes de Umbriel. La primera es un mapa de la reflectividad de la superficie y la segunda una imagen real.



Arriba, otra sugestiva imagen de Umbriel, la decimotercera luna de Urano.

su plano ecuatorial es perpendicular al de los demás planetas. En general, los satélites orbitan en el plano ecuatorial del planeta. En el caso de Urano, esto significa que la trayectoria de la nave espacial era perpendicular a la de los satélites, como una flecha y el blanco. En vez de pasar cerca de cada satélite sucesivamente, como en el caso de Júpiter y Saturno, la sonda alcanzó al mismo tiempo la mínima distancia a todos ellos. Para asegurar la cobertura fotográfica de cada luna fue necesario calcular la secuencia de imágenes con la precisión de un segundo. Ni siquiera así fue posible fotografiar más de la mitad de cada satélite, pues sólo los hemisferios meridionales estaban iluminados. Las lunas que la Voyager 2 descubrió son muy pequeñas, con un diámetro comprendido entre 40 y 80 km.

Los cinco satélites mayores parecen haber poseído, al menos en el alba de su historia, actividad geológica. Resulta sorprendente el hecho mismo de que esta actividad pudiera comenzar. Cuerpos tan pequeños (Ariel es un tercio de la Luna y Miranda un sexto) no deberían presentar ningún tipo de actividad. El motivo de esta anomalía podría ser la fuerza de marea ejercida por el gigante gaseoso alrededor del cual orbitan. Lo mismo debería valer para las lunas de Júpiter y Saturno. El calentamiento por obra del efecto de marea parece ser la única explicación posible y podría dar cuenta también de la diferencia de evolución entre Umbriel y Ariel. Otro factor que ha incidido en la presencia de actividad geológica es el alto porcentaje de rocas; en Oberón y Titania este porcentaje se estima entre un 40 y un 60%. Los elementos radiactivos contenidos en las rocas producen el calor necesario.

El nombre de esta luna, Ariel, deriva del espíritu malicioso de La Tempestad *de Shakespeare.*



OBERÓN Y TITANIA

Son los dos satélites mayores y más exteriores, con un diámetro de casi 1.600 km cada uno (la mitad que nuestra Luna) y aproximadamente la misma masa. Sus superficies, ricas en hielo, reflejan alrededor del 30% de la luz solar incidente y son de color gris uniforme. Pese a este parecido, los dos satélites han tenido una historia muy diferente.

Oberón posee numerosas fallas, pero escasos indicios de fracturación tectónica.

En la superficie de Ariel es posible ver el complejo sistema de fosas tectónicas que caracterizan este satélite de Urano.





La superficie de Umbriel parece muy antigua. Lo confirma el gran cráter que se ve en la parte superior, a la derecha.

Su superficie está casi enteramente cubierta de grandes cráteres de hasta 100 km de diámetro. Esto demuestra que la superficie ha permanecido inalterada desde su formación. Sólo en el fondo de algunos cráteres observamos manchas oscuras debidas a erupciones volcánicas que tuvieron lugar después de que los impactos excavaran los cráteres.

El caso de Titania es distinto. La superficie muestra señales de una actividad tectónica global. Hay fosas tectónicas con fallas de distensión. Aunque esta luna está craterizada, se cree que los impactos son recientes. Los cráteres formados inmediatamente después del nacimiento de Titania habrían sido suprimidos por un profundo proceso de remodelación superficial que habría durado bastante tiempo. El vulcanismo comenzó durante los primeros bombardeos, y los grandes cráteres se llenaron de lava. A medida que el satélite fue irradiando su calor interno, empezó a helarse desde la corteza hacia el centro. Al helarse, el agua aumentó de volumen y la superficie se quebró en una red de fallas, formando también enormes

Las bandas luminosas visibles en el disco de Ariel son zonas más recientes, con hielo relativamente fresco.





Miranda, con un diámetro de apenas 500 km, es una de las lunas más pequeñas de Urano.

fosas tectónicas. Estos movimientos estuvieron probablemente acompañados de extrusiones fluidas que nivelaron las llanuras. Todo ello sucedió hace por lo menos 3.000 millones de años. Desde entonces, Titania es un satélite tranquilo.

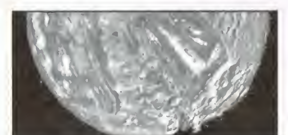
UMBRIEL

Umbriel no muestra indicios de actividad geológica; su superficie es probablemente similar a la que tenía poco después de que se formara el sistema solar. Está recubierta de grandes cráteres pero carece totalmente de las características bandas claras (debidas a hielo subterráneo sin polvo) que habitualmente los acompañan. Para explicar esta ausencia se han formulado dos teorías.

La primera postula un microbombardeo que habría vuelto a mezclar toda la superficie; la segunda supone que las bandas nunca se formaron porque Umbriel está cubierto de una capa de varios kilómetros de material poco reflector. Se opone a esta segunda hipótesis la existencia de un anillo de casi 80 km de diámetro y de un pico, ambos luminosos, como si debajo hubiera material reflector.

ARIEL

Ariel tiene un diámetro de poco más de 1.200 km, similar al de Umbriel, pero el terreno es completamente diferente. Este satélite es el más reflector de los cinco mayores. Su albedo es del 40% y su superficie es probablemente la más joven. En Ariel hay indicios de actividad geológica a gran escala con señales de líquidos. La temperatura es demasiado baja para que pueda tratarse de agua, por lo que se ha sugerido que podría ser amoníaco líquido mezclado con hielo. Es similar a Titania, aunque en el caso de Ariel la actividad geológica fue más prolongada e intensa. No hay craterización primordial y la más reciente también es escasa; las fosas



Pese a su reducido tamaño, Miranda exhibe una intensa actividad geológica, como puede apreciarse en esta imagen.

tectónicas son más largas y profundas. El material de erupción, casi con seguridad, no es roca fundida (como en la Tierra), sino una mezcla fluida y viscosa de hielo y roca con movimientos similares a los de un glaciar terrestre. En algunas zonas la capa superficial muestra crestas y surcos paralelos a los ejes de las fosas tectónicas. Algo similar ocurre en las erupciones de lava del fondo de los océanos terrestres. El vulcanismo de Ariel es parecido al de algunos satélites de Júpiter y Saturno.

MIRANDA

Miranda es uno de los mundos más extraños que se han encontrado hasta el momento. Su diámetro es muy pequeño, unos 500 km, pero la superficie se parece a la de un cuerpo 10 veces mayor, con formaciones geológicas complejas y peculiares. La parte más antigua está formada por llanuras craterizadas en tiempos relativamente recientes. Superpuestas a estas llanuras hay tres enormes regiones ovales, de diámetro comprendido entre 200 y 300 km, mucho más jóvenes que las llanuras. Estas zonas están formadas por haces paralelos de crestas y escarpaduras. Tanto las regiones ovoidales como las llanuras están surcadas por fosas tectónicas, de hasta 20 km de



Detalles extraordinarios del suelo de Miranda, cubierto de crestas y escarpaduras de hasta 20 km de profundidad.

altura, que dan la vuelta al satélite. Hay indicios de coladas, aunque menos extensas que las de Ariel.

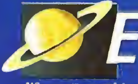
Para explicar la historia de Miranda se han formulado dos teorías. La primera postula que la luna se destruyó y más tarde se volvió a formar, permitiendo así la separación de la roca y el hielo. La segunda sostiene que poco después de la formación había una mezcla uniforme de roca y hielo; luego, bajo la influencia del calor interno, la roca penetró hacia el centro y el hielo subió hasta la superficie. Las regiones ovoidales serían debidas al ascenso de enormes masas de hielo. Pero el desarrollo del satélite se habría interrumpido sin llegar a completarse, con la roca dentro y una capa helada fuera.

En el fondo de las llanuras de Miranda se ven regiones claras y oscuras, indicios de recientes coladas lávicas.



NEBULOSAS

Las nebulosas difusas figuran entre los objetos más bellos del cielo. Se trata de grandes nubes de gas y polvo de colores espectaculares. Muchas son fácilmente observables con modestísimos instrumentos.



Entre los «ingredientes» del universo, además de las estrellas, los planetas y las galaxias, figuran las nebulosas difusas. Estos objetos desempeñan un papel fundamental en la historia del cosmos, ya que en su interior se forman nuevos astros por medio de un lento colapso gravitatorio. El material del que están formadas tiene dos componentes: gas y polvo. Parte del gas es de origen primordial: se formó al comienzo de la historia del universo, cuando aparecieron el hidrógeno y el helio constitutivos de las primeras estrellas. Los elementos más pesados y el polvo tienen un origen más reciente, ya que se han formado en estrellas que los liberaron al medio interestelar mediante fases más o menos violentas. De hecho, las nebulosas son regiones en las cuales el tenue medio interestelar se ha vuelto más denso a causa de la gravedad, y ha formado nubes que al aumentar de masa y tamaño atraen cada vez más la materia circundante. En algunos casos, dichas nubes se vuelven visibles porque las estrellas de reciente formación excitan sus átomos y las vuelven luminosas.

POLVO INTERESTELAR EN LA LUNA

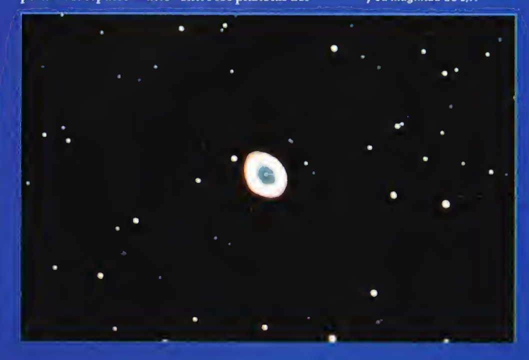
Se supone que el polvo interplanetario, el que permea el espacio «vacío» entre los planetas del sistema solar, tiene una composición similar al polvo interestelar, el que se encuentra entre las estrellas. Por ello, podemos investigar el primero, más próximo y abordable, para sacar conclusiones acerca del segundo. Para estudiar el polvo interplanetario se pueden utilizar las sondas, como la Pioneer, la Helios, la Giotto y la Vega, las cuales, durante sus largos viajes por el sistema solar, han registrado las numerosas colisiones con partículas de polvo a las cuales han sido expuestas. A partir de su velocidad y dirección de procedencia se puede obtener información acerca de ellas.

Para estudiar más de cerca el polvo, se puede recurrir a un truco. Los astronautas de las misiones Apollo, que pisaron la Luna, regresaron a la Tierra con una notable cantidad de rocas lunares. Dado que en la Luna no hay atmósfera, el polvo llega a la superficie a gran velocidad y crea microscópicos cráteres.

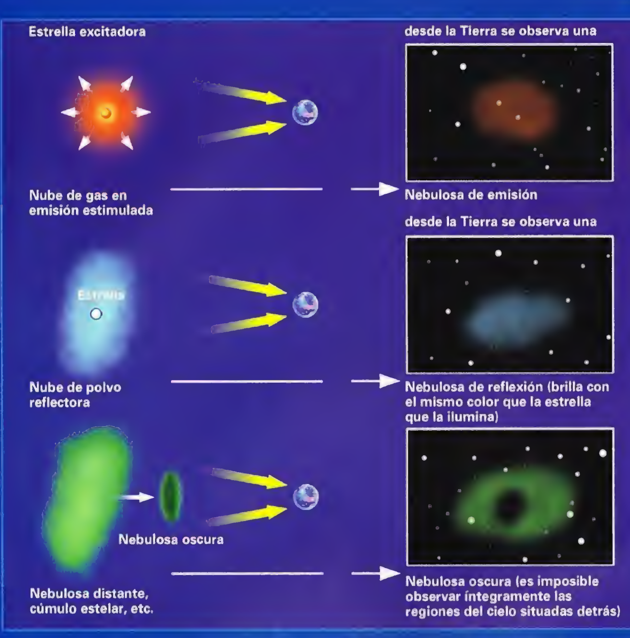
Como en nuestro satélite no hay movimientos telúricos ni agentes atmosféricos, estos cráteres se conservan intactos y permiten determinar la densidad y el tamaño de los granos que componen el polvo interplanetario. Otra posibilidad consiste en buscar el polvo en medios terrestres donde pueda haberse preservado, como en el hielo de la Antártida o en los fondos oceánicos, entre los sedimentos, donde no haya podido ser erosionado o contaminado por el medio ambiente terrestre. Analizando estas muestras, los científicos han establecido que el polvo está formado por una



M24 (a la derecha) pertenece a la rica colección de nebulosas difusas de la constelación de Sagitario. Este objeto tiene grandes dimensiones angulares pero una baja luminosidad superficial. En su interior se encuentra el cúmulo NGC 6603, muy denso. Para observar estas nubes es aconsejable el uso de prismáticos en un cielo no contaminado por las luces de la ciudad.



M57 (abajo), situada en la constelación de la Lira, es el ejemplo más famoso de nebulosa planetaria. Con un telescopio de aficionado se puede ver su forma redondeada. Su diámetro es de unos 70 segundos de arco y su magnitud de 9,7.



Las nebulosas difusas se pueden dividir en tres categorías básicas: de emisión, de reflexión y oscuras. En el esquema de la izquierda se muestra el origen de cada tipo. Las primeras son nubes cuyos átomos resultan excitados por la radiación emitida por estrellas próximas, jóvenes y brillantes. Esta radiación es absorbida por la nube y luego reemitida. El segundo tipo, el de las nebulosas de reflexión, comprende aquellas nubes cuyos átomos reflejan solamente la luz de las estrellas vecinas, por lo que aparecen del mismo color que las estrellas cuya luz reflejan; un ejemplo famoso es el de la nebulosidad azulada que rodea las Pléyades. Hay que mencionar por último las nebulosas oscuras, regiones de polvo muy densas que impiden ver los objetos luminosos situados detrás.

mezcla de carbono en varios estados de agregación y silicatos, con trazas de otros materiales orgánicos. El gas que constituye las nebulosas, en cambio, es sustancialmente hidrógeno.

OBSERVAR LAS NEBULOSAS

Hay muchas nebulosas en el cielo, que podemos dividir en tres tipos básicos: las nebulosas de emisión, las de reflexión y las oscuras, según los fenómenos que alberguen y el aspecto que presenten. Las primeras brillan porque sus átomos, excitados por la radiación ultravioleta emitida por las estrellas próximas, se convierten a su vez en fuentes de radiación. Las segundas no emiten radiación propia pero reflejan la de las estrellas más próximas. Las oscuras, por último, son densas concentraciones de polvo que absorben eficazmente la luz y sólo son ópticamente visibles cuando detrás de ellas hay una fuente luminosa sobre la que puedan destacar.

Muchas de estas nebulosas son fácilmente observables, en algunos casos incluso a simple vista. En otros casos, bastan unos prismáticos o un pequeño telescopio de aficionado. Entre ellas figuran las pertenecientes al famoso catálogo de Messier, compilado en la segunda mitad del siglo XVIII por el astrónomo francés del mismo nombre.



En la constelación de la Serpiente se encuentra M16, la nebulosa del Águila. Dentro de ella hay un cúmulo abierto que comprende varias decenas de estrellas de magnitudes comprendidas entre 8 y 11. Se encuentra a más de 7.000 años luz de la Tierra.

LAS PRINCIPALES NEBULOSAS DIFUSAS

Nombre	Ascensión recta	Declinación	Tamaño (minutos de arco)
M42 (Orión)	5h 35,5m	–5° 28′	90 × 60
M78	5h 46,7m	+ 0° 03′	8 × 6
Roseta	6h 33,7m	+ 4° 58′	80 × 60
M20 (Trífida)	18h 02,0m	–22° 60′	20 × 20
M8 (Laguna)	18h 04,1m	–24° 20′	45 × 30
M16 (Águila)	18h 18,8m	–13° 49′	120 × 25
M17 (Omega)	8h 20,9m	–15° 59′	40 × 30

La nebulosa más brillante del hemisferio norte es la de Orión, catalogada como M42. Se trata probablemente del primer objeto al que los amantes del cielo, en las noches de invierno, dirigen sus instrumentos recién comprados. Junto a ella se encuentran también M43 y M78. Pero hay otras muchas nebulosas de gran belleza, todas ellas dignas del tiempo que requiere su observación.

LA NEBULOSA LAGUNA

La nebulosa Laguna, M8, se encuentra en la constelación de Sagitario, que es la zona del cielo más rica en este tipo de objetos. La región más rica de la Vía Láctea se encuentra, en efecto, en aquella dirección (la orientada hacia el centro de la Galaxia), y las nubes de polvo se hallan prácticamente siempre en el plano galáctico. La nebulosa Laguna está asociada a un cúmulo abierto, como sucede a menudo en estos casos. Como se ha dicho, las nebulosas son zonas de formación estelar a menudo acompañadas de cúmulos de estrellas jóvenes y brillantes. M8 probablemente ya fue observada por Flamsteed hacia 1680, pero ni él ni otros astrónomos de su tiempo, como Le Gentil y Lacaille, tenían instrumentos lo bastante potentes para resolver el cúmulo asociado en sus estrellas componentes. Fue Charles Messier quien reconoció claramente que la nebulosa estaba asociada a un cúmulo. El nombre de la nebulosa, Laguna, debido a su forma aparente, se remonta a comienzos del siglo xx.

En noches muy oscuras, M8 es observable a simple vista en el cielo. Para encontrarla, se puede tomar como referencia cuatro estrellas brillantes de Sagitario: fi, sigma, tau y zeta, que forman una especie de cuadrilátero; también se puede partir de alfa y beta de la constelación del Escudo.

Unos pequeños prismáticos muestran ya algunos detalles, pero otros más potentes (por ejemplo, de 20 × 80) revelan mayores detalles, como una raya oscura que se insinúa dentro de la nube, ligeramente al oeste del cúmulo, en dirección noreste-suroeste. En el cúmulo abierto, llamado NGC 6530, son observables unas cuarenta estrellas de magnitudes comprendidas entre 8 y 13, muchas de las cuales son estrellas jóvenes blancoazuladas, de tipo espectral O y B, que tienen menos de diez millones de años de edad. Su luz excita los átomos de la nebulosa, que se vuelve visible. La región más densa de M8 tiene una forma especial que justifica el nombre de clepsidra; esta región es excitada por la luz de la estrella 9 Sagitarii. Por último, en M8 se observan varios glóbulos de Bok, regiones oscuras de unas diez mil unidades astronómicas de diámetro. La distancia a M8 oscila entre 3.000 y 4.000 años luz.



Composición de distintas imágenes que muestra una parte de la Vía Láctea. La mayor parte de las nebulosas se concentran en el disco de nuestra Galaxia.

OTRAS NEBULOSAS DE SAGITARIO

También en Sagitario se encuentra M20, una típica nebulosa de emisión. Se trata de la nebulosa Trífida, así llamada por su característica forma dividida en tres partes.

M20 fue probablemente descubierta por Le Gentil hacia 1750, pero la primera descripción se remonta a 1764 y se debe a Messier. Wilhelm Herschel distinguió las líneas oscuras que la dividen en tres zonas triangulares. Su hijo John observó cuidadosamente esta nebulosa y la describió en detalle, usando por primera vez el nombre Trífida. Unos prismáticos de 20 × 80 permiten ver



La nebulosa Trífida, M20, se encuentra en la constelación de Sagitario, en la zona orientada hacia el centro de la Vía Láctea. Su magnitud es de 7,5, pero hay que tener en cuenta que la luminosidad de los objetos difusos, a diferencia de la de las estrellas, se dispersa por una región del cielo bastante amplia, lo que dificulta su observación a igualdad de magnitud. Su nombre es debido a su forma característica, donde regiones de polvo oscuras dividen la nube en tres partes distintas.



NEBULOSAS DIFUSAS

Las nebulosas difusas están concentradas en una zona particular del cielo, la Vía Láctea. Se trata del disco de nuestra Galaxia tal como se ve desde la posición que ocupa dentro de él el sistema solar. En el plano galáctico hay una gran cantidad de gas y de polvo, en forma de nubes o de simple materia interestelar, y una intensa actividad de formación estelar.

claramente su parte más luminosa como una mancha redondeada de unos 10' de diámetro.

En su interior hay dos estrellas blancoazuladas; una de ellas, ADS 10991, es doble, con componentes de magnitudes 7,6 y 8,7, separadas 11". Encima de la parte principal de la nebulosa hay una zona azulada, dentro de la cual se encuentra la estrella HD 164514. Ésta, sin embargo, no es lo bastante caliente como para excitar el hidrógeno circundante; esta parte de nube, por tanto, es de reflexión. Las zonas oscuras que dividen la nube son debidas a la presencia de polvo y gas fríos. La distancia a M20 es de unos 3.200 años luz y su diámetro real de unos 30 años luz.

También en Sagitario, en plena Vía Láctea, se encuentra M24. Es una nebulosa observable a simple vista y por tanto descubierta probablemente antes de lo que dicen las crónicas oficiales, que hablan de su observación por Messier, el cual valoró su diámetro en 1,5 grados. John Herschel vio el pequeño cúmulo que se encuentra en su interior, NGC 6603. En M24 destacan dos pequeñas regiones oscuras, clasificadas por el astrónomo Emerson Barnard y conocidas como B92 y B93. M24 se observa bien con unos prismáticos; la porción septentrional se conoce como Pequeña Nube de Sagitario y contiene el cúmulo, el cual cuenta al menos con 150 estrellas y es tan denso y compacto que hace pensar en un cúmulo globular.

M17: LA NEBULOSA OMEGA

También esta nebulosa se encuentra en Sagitario, en la frontera con las constelaciones del Escudo y de Ofiuco.

Fue descubierta por el suizo De Chéseaux, que no hizo pública su observación hasta 1746, cuando escribió una carta a la Real Academia de Ciencias de París.

Dieciocho años después fue redescubierta por Charles Messier. Wilhelm y John Herschel la describieron extensa y minuciosamente, y el segundo, así como lord Rosse, hizo magníficos dibujos de ella. El almirante Smyth la oficializó como M17, pero esta nebulosa era ya conocida como nebulosa de la Herradura y también como nebulosa Omega, debido a la forma con que aparece en un telescopio, que recuerda la letra griega homónima. A Camille Flammarion le pareció ver en ella la forma de un cisne y la describió como «una nube de humo fantásticamente movida por el viento». M17 está unos 3 grados al suroeste de la estrella gamma Scuti, de magnitud 4,5.

M17 es la nube más brillante del hemisferio norte después de la de Orión. Es claramente visible con unos simples prismáticos de 8 × 30, pero con unos de 20 × 70 muestra su aspecto alargado y algunas estrellas de novena magnitud en su interior. Es necesario un telescopio de al menos 30 cm para empezar a intuir la forma de omega. La nebulosa está excitada por un grupito de al menos cinco estrellas muy calientes y brillantes. Esta nebulosa también es una intensa fuente de radioondas y se encuentra a sólo 2 grados de la fuente de rayos X conocida como Sagitarius XR-2. Las observaciones en infrarrojo han mostrado además que contiene una gran cantidad de polvo y que alrededor del 29% de su luz está polarizada.

La nebulosa Omega (abajo), situada en la constelación de Sagitario, cerca de los límites con el Escudo y Ofiuco, es la nebulosa más brillante del hemisferio septentrional después de la de Orión. Por su forma se conoce también como nebulosa de la Herradura.





La nebulosa Dumbbell (M27), situada en la constelación de la Zorra, constituye otro ejemplo de nebulosa planetaria. Su diámetro es de 350 segundos de arco y su magnitud de 7,6. Su forma alargada, ensanchada en los bordes, la asemeja a una clepsidra o a una haltera, como recuerda su nombre inglés.

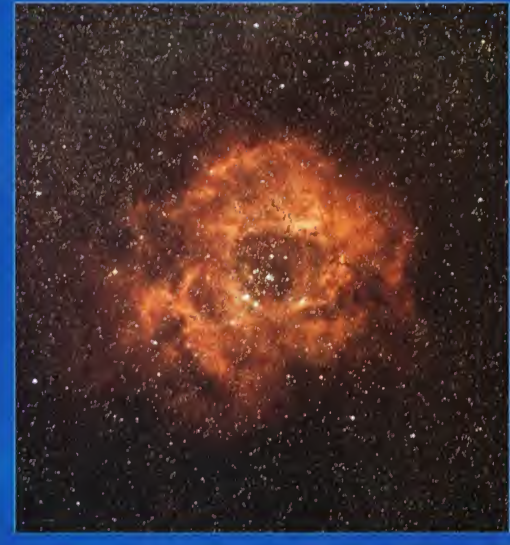
La nebulosa Roseta (abajo), en la constelación del Unicornio, tiene un tamaño angular de unos 80 × 60 minutos de arco. En su interior hay un cúmulo, NGC 2244, compuesto por estrellas más bien luminosas, en el límite de la percepción a simple vista. Para observar la Roseta hacen falta unos prismáticos bastante potentes y un cielo muy oscuro.

UN ÁGUILA EN LA SERPIENTE

M16, la nebulosa Águila, fue descubierta por De Chéseaux en 1746 e independientemente por Messier unos veinte años después. Curiosamente, no fue observada ni por Herschel ni por los demás astrónomos de la época. Isaac Roberts, pionero de la fotografía celeste, la fotografió en 1875, y Barnard la describió como nebulosa en 1915.

M16, que se encuentra cerca de los márgenes de la constelación del Escudo, se puede localizar partiendo de gamma Scuti y moviéndose unos 3 grados hacia el noroeste, cerca de la frontera con la constelación de la Serpiente, donde es perceptible a simple vista como una débil mancha luminosa. Algunas estrellas del cúmulo abierto que comprende son observables con unos prismáticos de 8 × 30, mientras que son necesarios otros más potentes para ver la débil luminosidad que las rodea.

Dentro de M16 hay una región oscura que va desde la parte septentrional hasta el centro de la nube. El cúmulo comprende decenas de estrellas; algunas de ellas son mucho más débiles y rojas a causa de la notable absorción de su luz. Las más brillantes tienen magnitudes comprendidas entre 8 y 11 y espectros O y B, los clásicos de las estrellas calientes y jóvenes. M16 es una nebulosa de emisión, pero presenta también una componente de reflexión. En su interior hay numerosos glóbulos de Bok similares a los de M8; su distancia se estima en un valor comprendido entre 5.000 y 11.000 años luz, probablemente unos 7.500.



¡TAMBIÉN HAY NEBULOSAS PLANETARIAS!

¡También hay nebulosas planetarias! Estas nebulosas se forman cuando una estrella, en una fase avanzada de evolución, emite una envoltura gaseosa. La más conocida es probablemente M57, situada en la constelación de la Lira; pese a no ser un objeto muy fácil de observar a causa de su baja luminosidad superficial, es claramente visible como una pequeña corona circular con un telescopio de unos 20 cm de diámetro. La nebulosa Dumbbell, en la constelación de la Zorra, la descubrió en 1764 Messier, el cual, al observarla en su telescopio de un centenar de aumentos, advirtió su forma oval. Fue observada también por Wilhelm y John Herschel, Schmidt, lord Rosse, el padre Secchi, Camille Flammarion y otros. Lord Rosse fue el primero en conjeturar que había una relación entre las estrellas que se observan proyectadas sobre la nebulosa y la propia nebulosa. Para localizarla en el cielo se puede tomar como referencia la estrella gamma Sagitarii y subir a partir de ella unos 3°. Ya es visible con unos prismáticos de 7 × 35 y 8 × 30, en los cuales aparece como una manchita redondeada débilmente luminosa; para ver su forma alargada se necesitan unos prismáticos de al menos 11 × 80. Pequeños telescopios de aficionado de 10-15 cm de diámetro permiten ver su característica forma de clepsidra. En el centro de M27 hay una enana blanca, resto de la estrella que generó la nebulosa planetaria, la cual tiene una temperatura de unos 85.000 grados. M27 dista de la Tierra entre 500 y 1.000 años luz y tiene un diámetro real, en el caso de la distancia mayor, de unos 2,5 años luz. Como todas las nebulosas planetarias, está en expansión, y su velocidad es de unos 27 km/s. A partir de la velocidad se puede calcular el ritmo de aumento de tamaño, estimado en unos 6,8" por siglo. Cabe deducir, pues, que la estrella progenitora expulsó la nebulosa hace unos 4.000 años.



La nebulosa Nortaamérica (arriba) se llama así por su asombrosa samajanza con al continenta americano. Se encuentra a unos 4 grados al este da Danab, la estrella alfa del Cisne. En su interior está el cúmulo NGC 6996, visible sólo con un telescopio.

OTRAS NEBULOSAS

Otras dos nebulosas difusas que merece la pena citar son Roseta y Norteamérica, ambas descubiertas por Barnard, quien también descubrió la famosa nebulosa Cabeza de Caballo de Orión, que de hecho lleva el nombre de Barnard 33. Este astrónomo se dedicó especialmente a las nebulosas oscuras, de las que catalogó más de 400. Las dos primeras fueron vistas como objetos nebulosos y difusos por los Herschel, que habían estudiado los cúmulos contenidos en ellas. Roseta se encuentra entre Betelgeuse y Proción, 3 grados al este de la estrella épsilon del Unicornio. Norteamérica, NGC 7000, se encuentra 4 grados al este de Deneb; si la noche es favorable se puede ver con unos prismáticos.



La nebulosa Laguna, M8, es la más brillante de Sagitario. Tiene una magnitud de 5,9 y una masa igual a tres veces la del Sol. En su interior está al cúmulo abierto NGC 6530, compuesto en su mayor parte por estrellas blancoazuladas muy calientes.

EL LEÓN MENOR

La constelación del León Menor se encuentra debajo de las patas de la Osa Mayor; su baja luminosidad la hace imperceptible para la mayoría.



Pese a encontrarse en una región del cielo poblada de constelaciones brillantes, el León Menor no es fácil de identificar. Esta constelación, introducida por Hevelius, contiene estrellas poco luminosas.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

En teoría no es demasiado complicado encontrar la constelación del León Menor, pues se encuentra a mitad de camino entre la constelación zodiacal de Leo y las patas posteriores de la Osa Mayor. Pero sus débiles astros constituyen un reto para nuestra vista.

Como las constelaciones de la Escuadra, la Popa y la Vela, el León Menor carece de estrella Alfa. Pero así como en aquéllas el motivo hay que buscarlo en que proceden de la desmembración de otras constelaciones, en el caso del León Menor no hay explicación precisa.

ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella más brillante de la constelación se conoce con el número de Flamsteed 46 y tiene magnitud 3,8. Se trata de un astro de luz anaranjada que dista de nosotros 140 años luz.

La segunda en luminosidad es Beta (magnitud 4,2), amarilla, que probablemente dista de nosotros unos 150 años luz.

En la constelación del León Menor encontramos también una variable del tipo Mira Ceti, la gigante roja pulsante de la constelación de la Ballena; se trata de la estrella R, no observable a simple vista, pues en su máxima luminosidad su magnitud es superior a la quinta. Su luminosidad oscila con un período de 372 días entre una magnitud máxima de 6,3 y una magnitud mínima de 13,2. Debido a esta notable fluctuación, la estrella es observable con telescopios de abertura igual o superior a 15 cm en condiciones de mínima luminosidad; cerca del máximo, bastan unos prismáticos para observarla.



NGC 3344 es una galaxia espiral observable en la constelación del León Menor, cuyo diámetro es igual a un séptimo del diámetro aparente del disco lunar.

OBJETOS DEL LEÓN MENOR

Pese a carecer de estrellas vistosas, el León Menor nos ofrece la posibilidad de observar algunos objetos del cielo profundo, esto es, objetos que requieren al menos unos buenos prismáticos para poder observarlos.

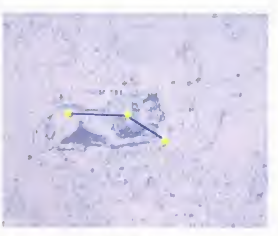
Entre ellos hay que mencionar algunas galaxias, todas pertenecientes al catálogo NGC, conocidas con los números 3344, 3430, 3486, 3395 y 3396. Se trata de objetos más bien elusivos, ya que los más brillantes son de décima magnitud. NGC 3395 y 3396 están distorsionadas por influencias gravitacionales mutuas.

La situación del León Menor en una zona de la bóveda celeste relativamente alejada de la Vía Láctea favorece la búsqueda de objetos extragalácticos dentro de sus límites.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL LEÓN MENOR

Al tratarse de una constelación introducida en tiempos recientes por el astrónomo Johannes Hevelius, el León Menor no está asociado a ninguna leyenda clásica. Obviamente, este astrónomo del siglo XVII pensó acompañar el León con un cachorro, representado por esta pequeña constelación.



La constelación del León Menor fue introducida en el siglo XVII para llenar una zona del cielo en la que no figuraban constelaciones conocidas por los astrónomos antiguos.

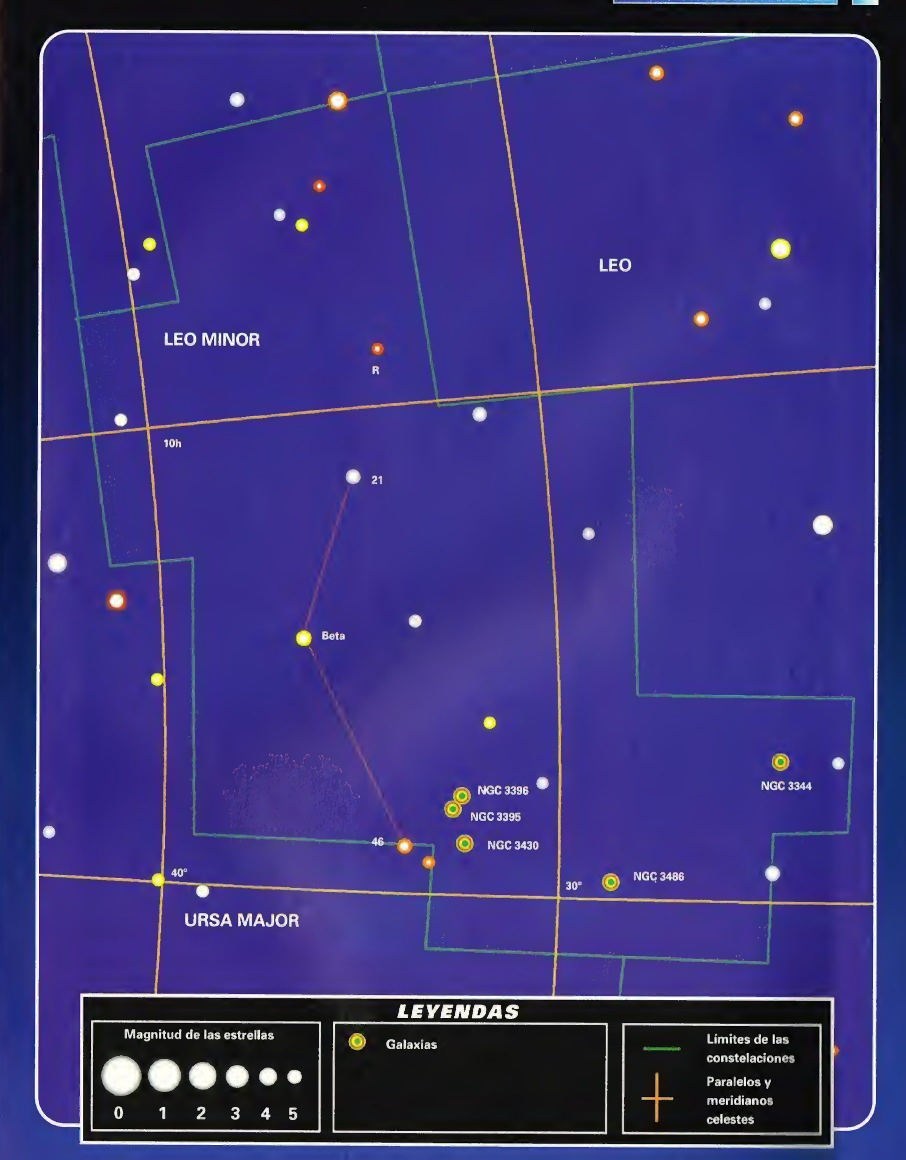
DÓNDE BUSCARLA

EL LEÓN MENOR

El período de observabilidad de la pequeña constelación del León Menor sigue al de la vecina, la imponente y antigua constelación de Leo. Por tanto, buscaremos las tenues estrellas y los débiles objetos de esta constelación cuando pase por el meridiano hacia medianoche entre finales de febrero y principios de marzo. Abarca una región del cielo comprendida entre las 9 horas 20 minutos y las 11 horas 5 minutos de ascensión recta, y entre los 23 y los 42° de declinación, aproximadamente.



La galaxia NGC 3395 forma con la vecina NGC 3396 un sistema en interacción.


LEO
LEO MINOR
R
10h
21
Beta
NGC 3396
NGC 3395
NGC 3430
46
NGC 3344
40°
30°
NGC 3486
URSA MAJOR
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

El universo en el que vivimos está formado por cargas eléctricas que interactúan a través de fuerzas electromagnéticas. Los campos eléctricos y magnéticos constituyen un modo útil de describir las interacciones entre cargas eléctricas.



Supongamos que realizamos un viaje al interior de la materia que constituye nuestro universo para contemplar detalles cada vez más finos. Con un microscopio que nos permita observar objetos subatómicos veremos que los átomos están formados por partículas dotadas de carga eléctrica: los protones, cargados positivamente, y los electrones, cargados negativamente.

CARGAS MACROSCÓPICAS

En realidad, no es necesario armarse con un dispositivo de este tipo, por lo demás inexistente, para descubrir la existencia de cargas eléctricas. Todos hemos frotado un bolígrafo contra la manga de un jersey y hemos observado que al acercarlo a pedacitos de papel éstos resultan atraídos por el plástico.

¿Cómo explicar este curioso fenómeno?

Al frotar el bolígrafo contra la manga del jersey, parte de la energía suministrada por el rozamiento se cede a los átomos, hasta el punto de que los electrones de los átomos del jersey pueden desprenderse y pasar al bolígrafo. De este modo, vamos cargando el bolígrafo con cargas negativas. Acerquemos ahora el bolígrafo cargado de electricidad a los pedacitos de papel: las cargas negativas presentes en el bolígrafo atraerán las positivas del papel y repelerán las negativas. Los pedacitos de papel serán atraídos por el bolígrafo porque la atracción de sus cargas positivas será superior a la repulsión de las negativas. En realidad, la separación de las cargas eléctricas dentro de los pedazos de papel será mínima, pero suficiente para que la fuerza resultante permita al bolígrafo atraer el papel.

Si tratamos de realizar el experimento con una varilla de vidrio en lugar del bolígrafo, obtendremos el mismo efecto.

Existen en la naturaleza espectaculares manifestaciones de las fuerzas eléctricas y magnéticas. Los rayos, por ejemplo, resultan de intensos campos eléctricos que se generan entre la superficie terrestre y la base de las nubes. Aunque a escala menor, también las chispas que aparecen en algunos circuitos eléctricos representan un fenómeno análogo.



La brújula, usada desde la Antigüedad para orientarse en el mar, se basa en la atracción que el campo magnético terrestre ejerce sobre una aguja imantada, su elemento activo.

Podríamos estar tentados de ver qué sucede si acercamos una varilla de vidrio a otra de plástico, ambas cargadas eléctricamente. La respuesta es que se atraen, mientras que dos varillas de vidrio o dos de plástico se repelen. Estos experimentos confirman la existencia de dos tipos de cargas, que llamaremos positiva y negativa.

Las cargas eléctricas, por lo tanto, pueden atraerse o repelerse según sea su signo. La acción de las cargas eléctricas puede representarse también a través del llamado campo eléctrico, que es una deformación de las propiedades del espacio debida a la presencia de las propias cargas. El físico francés Charles A. de Coulomb (1736-1806) estableció que dos cargas eléctricas se atraen o se repelen con una fuerza directamente proporcional a las propias cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia mutua.

El campo eléctrico creado por una carga eléctrica se define como el cociente entre la fuerza que ejerce ésta sobre una segunda carga, llamada «carga de prueba», y el valor de la propia carga de prueba. Por lo tanto, el campo eléctrico depende sólo del valor de la carga eléctrica que origina el campo. En términos matemáticos, la fuerza entre dos cargas Q y q es igual a $F = KQq/d^2$, donde K es una constante y d es la distancia entre las cargas. El campo creado por Q es igual a $E = KQ/d^2$, donde d es la distancia entre la carga Q y el punto donde se mide el campo.

UN FENÓMENO CURIOSO: EL CAMPO MAGNÉTICO

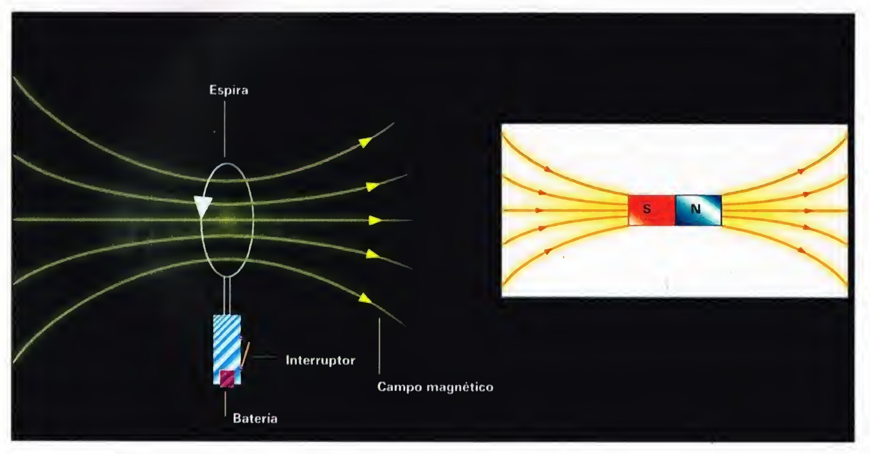
Los imanes tienen un comportamiento similar al de las cargas eléctricas. Todo imán presenta dos polos, llamados «norte» y «sur».

Si se acercan dos imanes, se podrá observar que los polos idénticos se repelen y los de signo contrario se atraen. No obstante, si tratamos de separar los dos polos de un imán, por ejemplo cortando un imán en dos partes, no tardaremos en darnos cuenta de que tal cosa es imposible: por algún extraño motivo, los nuevos imanes obtenidos vuelven a presentar ambos polos.

Este extraño comportamiento no es fruto del azar o de nuestra impericia, sino que tiene que ver con el origen del campo magnético. Éste, a diferencia del campo eléctrico, no es generado por cargas estáticas sino por corrientes.

Uno de los primeros experimentos relativos a este fenómeno fue el que realizó el físico y químico danés Hans C. Oersted (1777-1851).

Este científico observó el comportamiento de una aguja magnética en las proximidades de un hilo recorrido por una corriente y llegó a la conclusión de que este último generaba un campo magnético capaz de desviar la aguja.



Una espira recorrida por una corriente genera un campo magnético en el cual coexisten los dos polos; por consiguiente, una pequeña espira puede representarse como un minúsculo imán.

Un hilo rectilíneo recorrido por una corriente eléctrica genera un campo magnético cuyas líneas de campo son circunferencias concéntricas que rodean el hilo. La intensidad del campo es inversamente proporcional a la distancia al hilo y directamente proporcional a la intensidad de la corriente que fluye por él.

Oersted realizó una serie de experimentos con hilos rectilíneos y descubrió que crean campos magnéticos, que forman circunferencias concéntricas a los hilos. Podemos suponer que en un imán existen corrientes naturales que generan el campo magnético observado; estas corrientes circulan a lo largo de espiras infinitesimales de dimensiones atómicas sin que haya corrientes macroscópicas medibles. La espira contiene simultáneamente los dos polos, por lo que es imposible separar el polo norte del polo sur de un imán.

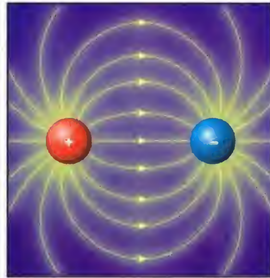
LA PRIMERA GRAN UNIFICACIÓN

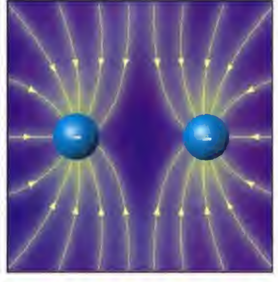
Después de los experimentos de Oersted, otros científicos experimentaron sobre los campos eléctrico y magnético para ver si había algún tipo de relación entre ambos.

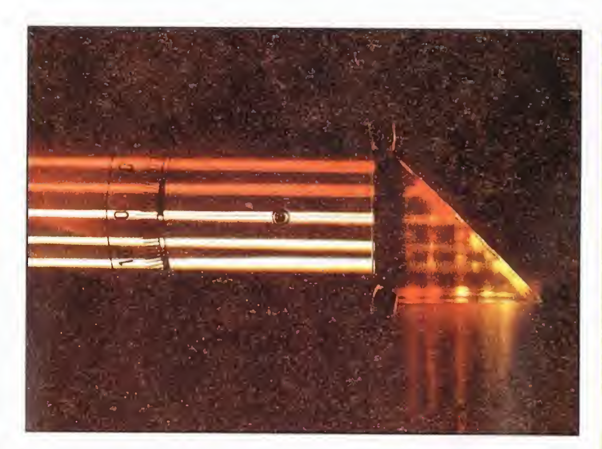
El físico francés André Marie Ampère (1775-1836) descubrió que en el caso del campo magnético, a diferencia del campo eléctrico, no puede definirse un potencial, esto es, una magnitud ligada al trabajo realizado por el campo para mover las cargas.

Michael Faraday (1791-1867), a la vez que Neumann (1798-1895) y Lenz (1804-1865), realizó estudios que

El campo eléctrico creado por dos cargas se representa por medio de las llamadas «líneas de campo», unas líneas que permiten visualizar la dirección del campo eléctrico debido a las cargas en cualquier punto del espacio. La mayor densidad de líneas de campo cerca de las cargas significa un aumento del campo eléctrico. En las imágenes de abajo puede observarse cómo la distribución de líneas de campo se altera sustancialmente al utilizar cargas del mismo signo o de signo contrario. Nótese que las líneas de campo fluyen de las cargas positivas.







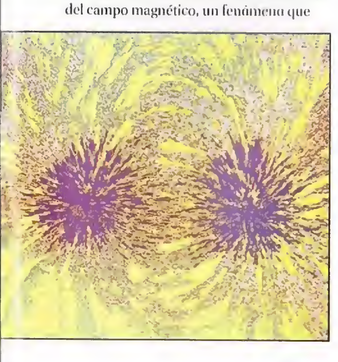
También la luz está asociada a fenómenos eléctricos y magnéticos, ya que se puede considerar como una propagación de campos electromagnéticos variables, similares a las olas del mar. Las distintas longitudes de onda de los campos pueden separarse con la ayuda de un prisma.

condujeron a la formulación de la llamada «ley de la inducción», o ley de Faraday-Lenz.

Esta ley afirma que un campo magnético variable (o, en general, un flujo magnético variable) produce una corriente a la cual está asociado un campo magnético que reduce las variaciones del campo inicial.

Dicho más simplemente, es como si existiese una «resistencia» a las variaciones del campo magnético, un fenómeno que puede observarse, por ejemplo, cuando se interrumpe el paso de la corriente por un circuito en el que hay una bobina. Como en una bobina se genera un intenso campo magnético, al abrirse el circuito el campo trata de persistir, haciendo que siga circulando corriente. Como el circuito está interrumpido, esto sólo puede suceder si se produce una descarga eléctrica. A menudo, cuando apagamos la luz, vemos aparecer una pequeña chispa en el interruptor, que es parcialmente debida al fenómeno indicado.

Con el trabajo de los científicos ya citados, que culmina con la brillante síntesis realizada por el físico inglés James Clerk Maxwell (1831-1879), se llegó a la primera gran unificación de las fuerzas de la naturaleza: la electricidad y el magnetismo.



CAMPOS VARIABLES Y ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Maxwell reunió las cuatro leyes más importantes del electromagnetismo en un corpus único, rectificando una de ellas (la que expresa los campos magnéticos en función de las corrientes que los crean, o ley de Ampère) por medio de la adjunción de un término cuya ausencia llevaba a contradicciones.

Un sistema para visualizar las líneas del campo magnético de un imán consiste en colocar éste encima de una hoja de papel y espolvorear limaduras de hierro sobre esta última. Las limaduras se dispondrán a lo largo de líneas que permitirán ver la estructura del campo magnético.



CAMPOS ELÉCTRICOS

En la naturaleza hay cuerpos y sustancias sensibles a la acción de los campos eléctricos y magnéticos. Un ejemplo de este tipo de sustancias viene dado por el agua, que, pese a no ser sensible a la acción de los campos magnéticos, es fácilmente perturbada por los campos eléctricos.
Si nos peinamos en un día seco, sentiremos un leve chisporroteo al pasar el peine por entre los cabellos; este fenómeno es debido a las descargas eléctricas que se crean entre el cuero cabelludo y el peine, que queda cargado por la acción del rozamiento.
Si abrimos un grifo y dejamos que caiga un hilillo de agua, y acercamos el peine al agua, veremos que la trayectoria de ésta se desvía de la vertical tanto más cuanto más cargado está el peine y más cerca está del agua. De vez en cuando oiremos una pequeña descarga eléctrica, señal de que algunas cargas han pasado del peine al agua; simultáneamente, veremos que la inclinación del hilo de agua disminuye.



El conjunto de las cuatro leyes se conoce actualmente como «leyes de Maxwell», aunque cada una de ellas es recordada con el nombre de su descubridor.

Heinrich Hertz (1857-1894) comprobó que de las leyes de Maxwell se deducía la existencia de una propagación ondulatoria de los campos eléctrico y magnético a una velocidad igual a la de la luz. Esto permitió introducir los fenómenos luminosos en el marco de la teoría electromagnética y asociar a la luz, así como a las radioondas y a los rayos infrarrojos, ultravioleta, X y gamma, campos eléctricos y magnéticos variables con el tiempo.

ÚLTIMAS PRUEBAS ANTES DEL ALUNIZAJE: APOLLO 9 Y 10

El éxito de las misiones Apollo 7 y 8 hizo comprender que la conquista de la Luna se encontraba ya muy próxima. Pero no se quiso dejar nada al azar. Antes de emprender la misión definitiva que debería llevar dos hombres a la Luna, se realizaron otras dos: una en órbita terrestre y la otra con dos hombres hasta pocos kilómetros de la superficie lunar.



Principios de enero de 1969, el año de la última prueba del Apollo.

No disipado todavía el entusiasmo provocado por el Apollo 8, una puerta corredera se abría en el colosal edificio para el montaje de cohetes espaciales en Cabo Kennedy y de su interior salía lentamente otro Saturno 5, erguido sobre un transportador de oruga.

Seis horas más tarde, el gigantesco cohete completaba su viaje de 5,5 km hasta la rampa de lanzamiento 39-A. En la cima del Saturno se encontraba el vehículo espacial para la misión Apollo 9.

Se fijó el 28 de febrero como fecha de lanzamiento y todos los preparativos se desarrollaron sin contratiempos. Por primera vez, los astronautas podrían manejar en vuelo el módulo lunar, el grácil vehículo de delgadas patas que en una misión real debía transportar a los hombres del módulo de mando en órbita hasta la superficie de la Luna y al revés.

El módulo de mando había superado la prueba con el Apollo 7, el Saturno 5 había demostrado que podía transportar hombres a bordo del Apollo 8 y ahora había llegado el momento de ensayar el módulo lunar.

El Apollo 9 en fase de maniobra en órbita terrestre. En el curso de la misión se experimentaron algunas técnicas de ensamblaje.



EL PLAN DE VUELO

El plan de vuelo del Apollo 9 preveía que los astronautas entraran en órbita terrestre, donde debían realizar una serie de maniobras esenciales para llegar a la Luna: debían entrenarse con el módulo de mando y el módulo lunar, volando primero con los dos vehículos unidos y después separados. Un ulterior elemento de riesgo era que el LEM, a causa de la delgadez de sus paredes, no era capaz de regresar a la Tierra. Los elegidos para compartir el riesgo con McDivitt fueron David Scott y Russell L. Schweickart.

El LEM, proyectado exclusivamente para operar en la Luna y en órbita lunar, por lo tanto en ausencia de atmósfera, carecía de cualquier protección contra el tremendo calor generado cuando el vehículo espacial se zambulle en la atmósfera terrestre.

Por consiguiente, una vez que los astronautas hubieran entrado en el LEM y se hubieran alejado del módulo de mando, sus vidas dependerían exclusivamente de su capacidad para guiar el módulo lunar hasta el encuentro con la nave madre.

A las 11 horas del 3 de marzo, los astronautas fueron puestos finalmente en órbita y realizaron con éxito la primera de las complejas maniobras necesarias para demostrar que el módulo lunar estaba en condiciones de llevar hombres a la Luna.

En 11 minutos de ascenso, las tres secciones del vehículo espacial, el módulo de mando, el módulo de servicio y el módulo lunar, unidas como un complejo único en la cima de la tercera fase del Saturno 5, entraron en órbita terrestre.



El Apollo 9 después del amaraje, al término de la misión. El regreso de las naves Apollo se produjo siempre en el agua.

El astronauta estadounidense McDivitt, del Apollo 9. Sus compañeros de misión fueron D. Scott y R.L. Schweickart.





El astronauta estadounidense Russell Schweickart, del Apollo 9, durante una actividad extravehicular (EVA).

El módulo lunar estaba alojado en un compartimiento metálico, entre el cohete y el resto del vehículo espacial. Tres horas después del lanzamiento, los módulos de mando y de servicio se separaron del módulo lunar. Scott maniobró entonces la nave de mando para hacerle dar media vuelta y accionó delicadamente los pequeños cohetes para hacerlo retroceder unos 15 m y ensamblarlo al módulo lunar, todavía unido al Saturno.

Era una de las primeras maniobras que los astronautas debían efectuar después de partir hacia la Luna.

La maniobra la llevó a cabo Scott, quien liberó un freno para que el brazo de unión saliera del módulo de mando.

Dicho brazo constaba de un tubo de unos 10 cm de diámetro rodeado de apéndices similares a los brazos de un gato de pinzas.

Cuando el módulo de mando entró en contacto con el módulo lunar, el brazo penetró en una cavidad cónica del LEM y se insertó en el anillo interior del orificio. Una vez notificada la conexión entre las dos secciones, Scott abrió una válvula para que el oxígeno del módulo de mando pudiera penetrar en el conducto entre las dos naves. Cuando la presión del conducto se igualó, Scott abrió la escotilla del módulo de mando y se arrastró por el conducto para inspeccionar las abrazaderas de inmovilización.

Había doce abrazaderas, pero no todas estaban programadas para cerrarse automáticamente por temor a que el choque dañara el módulo lunar. Scott cerró a mano las restantes abrazaderas. Luego controló la perfecta alineación de los dos vehículos y conectó dos alargaderas eléctricas del módulo lunar a las tomas del módulo de mando. Así se suministraba energía al LEM y se aseguraba una unión para las comunicaciones entre los dos vehículos.

Más tarde, Scott accionó un interruptor para desprender el módulo de mando y el módulo lunar, todavía unidos, de la fase del Saturno.

Dos veces llegó de la Tierra la orden de encendido, que envió el cohete a una órbita solar.

Mientras tanto, los astronautas se habían alejado ya varios kilómetros con sus vehículos y pudieron asistir al espectacular último encendido del Saturno.

En los días siguientes se llevaron a cabo todas las operaciones previstas en el plan de vuelo: la separación del LEM del Apollo y su ulterior ensamblaje, una actividad extravehicular por parte de Schweickart, así como otras pequeñas pero importantes maniobras para volver a la Tierra. Todo fue a pedir de boca y el 13 de marzo los astronautas regresaron zambulléndose en las aguas del océano Atlántico, cerca de Puerto Rico. El Apollo 9 fue un gran éxito.

EL APOLLO 10

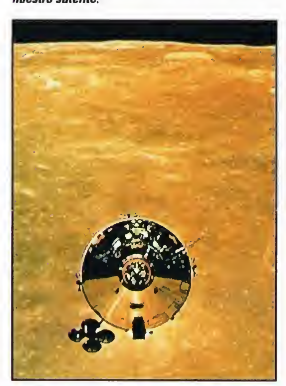
Hasta fines de marzo de 1969 subsistió la vaga esperanza de que la tripulación del Apollo 10 pudiera ser la primera en llegar a la Luna. Teniendo en cuenta los vuelos casi impecables de los Apollo 7, 8 y 9, se tomó en consideración la posibilidad de saltarse una misión en simple órbita lunar y de proceder de inmediato al descenso. Pero el director del programa Apollo, Samuel Phillips, descartó al fin esta solución.

El desembarco, después de una sola órbita alrededor de la Luna y de un solo ensayo con la tripulación del módulo lunar, era un riesgo excesivo. «Necesitábamos la misión Apollo 10 –dijo Phillips– para poner a punto el conjunto del sistema: hombres y equipos. En particular, hacía falta una mayor experiencia con el módulo lunar.» Phillips fijó el lanzamiento para el 18 de mayo.

Los objetivos principales de la misión eran los siguientes:

• hacer volar el módulo lunar hasta 15 km de la Luna, la distancia más breve a otro cuerpo celeste a la que el hombre había llegado jamás;

Una imagen espectacular del módulo lunar del Apollo 10 sobrevolando la superficie de nuestro satélite.



• efectuar el encuentro y el ensamblaje entre el módulo lunar y el módulo de mando a unos 112 km de la Luna y 370.000 km de la Tierra;
• determinar la influencia sobre la precisión de las maniobras en vuelo del campo gravitacional de la Luna, débil e irregular;
• fotografiar la zona prevista para el desembarco del Apollo 11 en el Mar de la Tranquilidad;
• dar treinta y una vueltas a la Luna en la zona ecuatorial durante dos días y medio;
• transmitir las primeras imágenes televisivas en color del espacio profundo.

EL LANZAMIENTO DEL APOLLO 10

Thomas Stafford fue elegido comandante del Apollo 10. Eugene Cernan y John Young fueron sus compañeros de viaje.

Otro lanzamiento perfecto puso a los hombres en ruta hacia la Luna a primera hora de la tarde del domingo 18 de mayo de 1969. Después de una vuelta y media a la Tierra, la tercera fase del Saturno 5 se volvió a encender para hacer salir el vehículo espacial de su órbita baja alrededor del planeta, a la velocidad inicial de 39.000 km/h. «¡Estamos en el buen camino!», dijo Stafford mientras el cohete iluminaba el alba sobre el Pacífico.

Con una maniobra idéntica a la del Apollo 9, los astronautas separaron el módulo de mando del resto del complejo, le hicieron dar media vuelta y lo ensamblaron al módulo lunar, en la cima de la tercera fase. Mientras la telecámara tomaba fotografías en color, los astronautas soltaron el módulo lunar al cual estaban unidos y vieron cómo el Saturno desaparecía en la vacía oscuridad del espacio.

Durante tres días, el Apollo 10 prosiguió su viaje, perdiendo progresivamente velocidad hasta que a 61.000 km de la Luna fue atraído cada vez más rápidamente hacia el satélite. Fue un período de distensión.

Ni siquiera se presentaron algunos inconvenientes de los demás vuelos: los resfriados y las náuseas. Los astronautas sólo tuvieron que lamentar un exceso de cloro en el agua (debido a una errónea regulación de la válvula), burbujas de hidrógeno que les producían gases en el estómago, y la presencia de partículas de fibra de vidrio, similares a copos de nieve, procedentes de un desgarrón del revestimiento de la escotilla del módulo de mando.

A las 16.45 del 21 de mayo, el cohete del módulo de servicio del Apollo 10 entró en acción para frenar el vehículo y poner a los astronautas en órbita lunar. Los hombres pasaron entonces a ocuparse de la



El módulo de mando del Apollo 10, diseñado para resistir temperaturas de más de 3.000 grados, alcanzadas durante la entrada en la atmósfera terrestre.

telecámara y durante 29 minutos dieron a los espectadores de la Tierra una idea de lo que significaba sobrevolar zonas inaccesibles como el Mar de la Fertilidad, el Mar de las Crisis, el cráter Langrenus y el Mar de la Tranquilidad.

En la parte suroccidental del Mar de la Tranquilidad, cerca del cráter Moltke, se extiende una zona llana que había sido elegida como lugar de desembarco del Apollo 11.

A primera hora de la mañana siguiente, Cernan y Stafford se arrastraron hacia el LEM por el conducto de unión y dejaron a Young en el módulo de mando.

Después de verificar todos los dispositivos para asegurarse de que habían resistido el viaje de 400.000 km, los astronautas separaron el LEM y volaron en formación durante un breve período; luego encendieron el cohete de descenso del LEM y empezaron a reducir altura surcando el cielo lunar a 6.000 km/h. «¡Estamos encima! ¡Estamos realmente encima! ¡Estamos bajando! ¡Estamos muy cerca!», exclamaba Cernan mientras el LEM se encontraba a 15.300 m de la superficie lunar, no mucho más arriba de lo que vuelan en la Tierra los aviones de línea.

Muchas razones habían sugerido la altitud de 15.300 m para la expedición exploradora del LEM. Era el último punto en el cual, en caso de desembarco efectivo, la tripulación podía decidir volver a encender el cohete para los siete últimos minutos de descenso.

De haber dificultades, en aquel mismo punto se podía encender el cohete de ascenso para volver al encuentro del módulo de mando, que permanecía en su órbita 111 km más arriba.

Durante el primer paso a baja altitud, Stafford miró por la ventanilla y caracterizó la zona de desembarco en el Mar de la Tranquilidad como «muy lisa, parecida a arcilla mojada; recuerda el lecho seco de un río de Nuevo México o de Arizona».

Ante aquel espectáculo, los astronautas tuvieron un momento de comprensible contrariedad. Stafford exclamó: «¡Cómo me gustaría poder bajar!». Pero el desembarco no formaba parte del plan de vuelo del Apollo 10.

Mientras tanto, el LEM y sus pilotos se encontraban todavía a 15 km de la Luna. «¡Estamos tan abajo que podríamos tocar las cimas de las montañas!», comentó Cernan. Entonces se encendió durante 15 segundos el motor de ascenso del módulo lunar para llevar a los astronautas al encuentro del módulo de mando siguiendo una trayectoria similar a la que hubieran seguido en caso de despegar de la superficie lunar. «Snoopy y Charlie Brown (los nombres del LEM y del módulo de mando) están abrazándose», gritó un astronauta cuando los dos vehículos volvieron a unirse.

Después de regresar arrastrándose al Charlie Brown, Stafford y Cernan cerraron las escotillas e hicieron que se alejara el estadio superior del módulo lunar; su cohete se encendió hasta el agotamiento del combustible; en este momento, los astronautas se encontraron en una amplia órbita lunar. Cernan dijo entonces: «¡Qué buen tipo es ese pequeño Snoopy!». Se inició a continuación el viaje de regreso, que devolvió a la Tierra a los tres astronautas 192 horas y 3 minutos después de la partida.

Todo estaba dispuesto para el gran salto.

Los lanzamientos del Apollo 9 y el Apollo 10 (este último en la foto) se efectuaron desde la base de Cabo Kennedy.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

¿HAY VIDA EN MARTE?

ESTRELLAS Y GALAXIAS

DESTELLOS GAMMA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

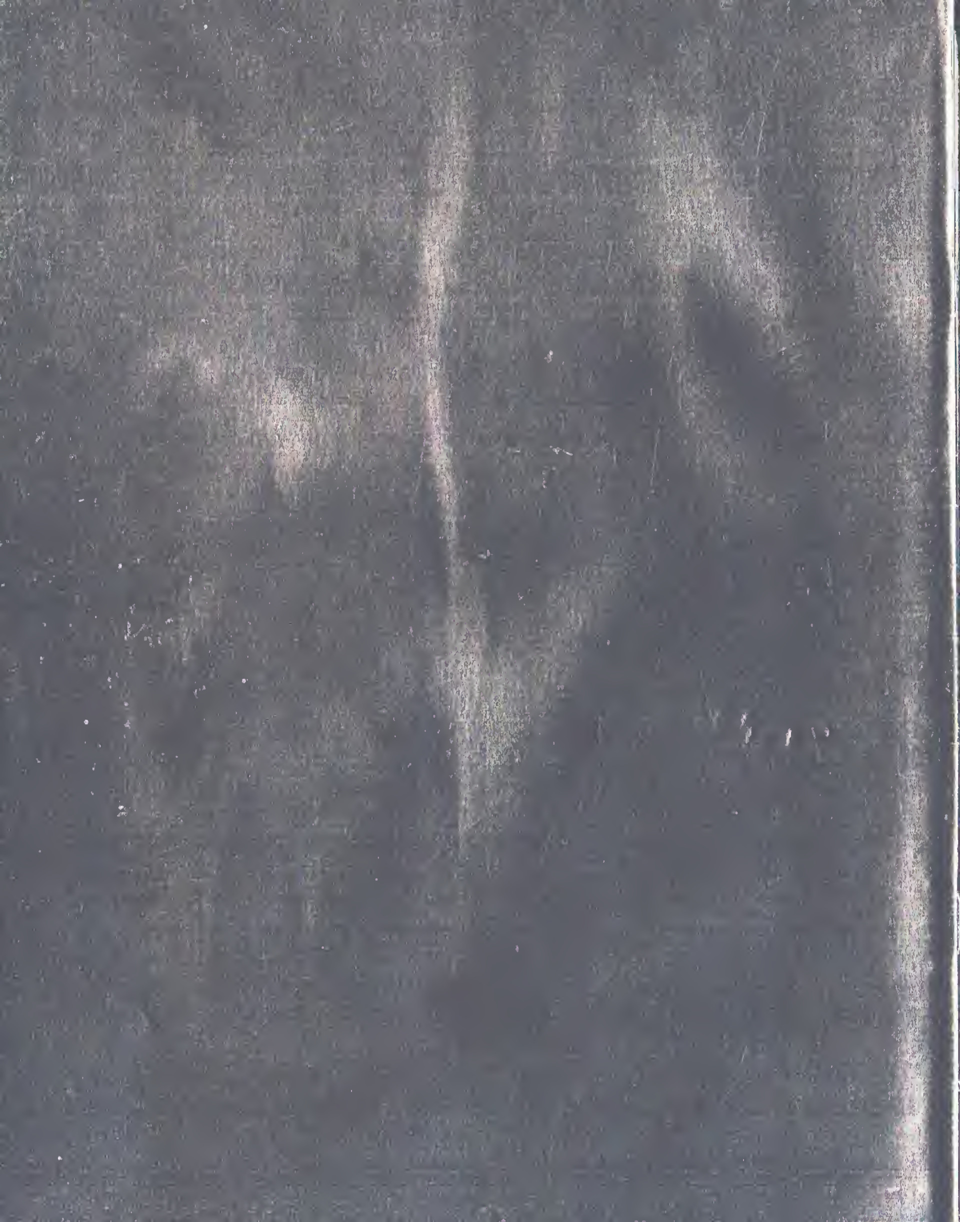
EL POTRO

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

DETECTORES DE NEUTRINOS

EL USO DEL ESPACIO

REDES INFORMÁTICAS



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

57



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

¿HAY VIDA EN MARTE?

La cuestión de la vida en Marte todavía no está definitivamente cerrada. El reciente anuncio del descubrimiento de microorganismos fósiles en un meteorito marciano caído en la Tierra ha reavivado un debate apasionante.



Actualmente, la palabra «marcianos» se ha convertido en sinónimo de extraterrestres, de seres procedentes de otros mundos. La famosa controversia sobre la existencia de canales artificiales en Marte tuvo su personaje principal en el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli. A finales del siglo XIX se abrió una polémica en la que se implicaron casi todos los astrónomos de la época. Después de los primeros trabajos publicados por Schiaparelli, otros muchos científicos afirmaron haber observado numerosos canales cuyo origen parecía artificial. A principios de este siglo, la discusión terminó cuando el propio Schiaparelli admitió públicamente que se había equivocado. A pesar de que la comunidad

En la imagen a toda página, un fotomontaje en el que se ve la sonda Mariner aproximándose al planeta Marte. Los resultados de los análisis efectuados por las sondas Viking fueron negativos en cuanto a la presencia de organismos vivos en suelo marciano.



Fotografía del meteorito ALH 84001 antes de los análisis. La corteza oscura se debe a la fusión parcial de las capas externas, ocurrida al atravesar la atmósfera terrestre.

científica probó sin ningún género de dudas que en Marte no había estructuras construidas por seres inteligentes, la imaginación popular ya había asociado la vida extraterrestre al planeta rojo.

La cuestión de la posible vida en Marte se llevó más tarde a un nivel microscópico. Evidentemente, los marcianos, entendidos como seres inteligentes creadores de una civilización avanzada, no existían. Pero ¿podían desarrollarse en aquel planeta microorganismos capaces de sobrevivir? A lo largo de la dilatada historia geológica de Marte, ¿se habían dado, aunque sólo fuera durante un período breve, las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo de la vida? La respuesta a estas preguntas ha resultado ser más difícil de lo que se había previsto.

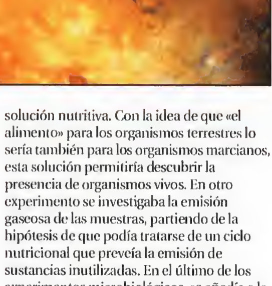
LAS SONDAS PONEN FIN A CUALQUIER ILUSIÓN

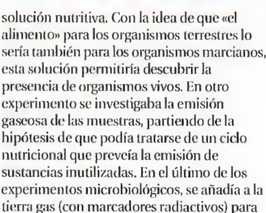
En 1964 llegaron a la Tierra las primeras imágenes cercanas del planeta. A pesar de la baja resolución de las fotografías, estaba claro que en la superficie de Marte no había vestigios de ninguna civilización avanzada.

La búsqueda de la vida en Marte alcanzó el punto de máximo interés con el aterrizaje en su superficie de dos sondas gemelas, la Viking 1 y la Viking 2.

El programa de la misión se basaba en algunas convicciones que los científicos habían madurado durante las exploraciones anteriores. Cuando se trabaja con hipótesis de vida extraterrestre, hay que descartar la idea de que la vida se haya desarrollado con características análogas a las que han dado origen a todos los seres vivos que hay en la Tierra. Cualquiera que sea la hipótesis que formulemos, no puede basarse en nuestras experiencias terrestres.

A bordo de las sondas Viking se prepararon algunos experimentos de microbiología que debían investigar el metabolismo de los posibles organismos que se descubrieran. Los dos módulos de aterrizaje estaban dotados de un brazo mecánico capaz de moverse y de recoger muestras del suelo. El brazo transportaba el material recogido hasta el interior del módulo, donde podían efectuarse cinco experimentos diferentes. Tres de ellos estaban destinados a la detección de microorganismos; otro, a la química inorgánica del suelo, y el último, al descubrimiento de moléculas orgánicas en la arena.





A finales del siglo pasado, algunas estructuras presentes en la superficie de Marte (a la derecha) fueron interpretadas como construcciones artificiales. Más tarde se vio que no era así.

EXPERIMENTOS MICROBIOLÓGICOS



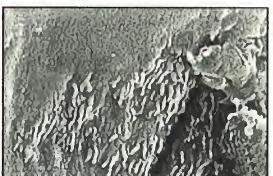
En cuanto a los experimentos de microbiología, cada uno de ellos ponía el acento en un aspecto específico del metabolismo. En un experimento, el material marciano fue puesto en contacto con una solución nutritiva. Con la idea de que «el alimento» para los organismos terrestres lo sería también para los organismos marcianos, esta solución permitiría descubrir la presencia de organismos vivos. En otro experimento se investigaba la emisión gaseosa de las muestras, partiendo de la hipótesis de que podía tratarse de un ciclo nutricional que preveía la emisión de sustancias inutilizadas. En el último de los experimentos microbiológicos, se añadía a la tierra gas (con marcadores radiactivos) para ver si se producía materia orgánica, lo que demostraría la presencia de formas de vida.

Los resultados obtenidos en todos estos experimentos de microbiología fueron contradictorios. Inicialmente parecían haber sido positivos: mezclando tierra marciana con la solución orgánica terrestre (primer experimento) se observó una escisión química, como si algunos microorganismos hubieran metabolizado parte de la solución. Incluso cuando se introdujeron gases terrestres en las muestras recogidas se observó una reacción química, como si hubiera organismos capaces de realizar la fotosíntesis.

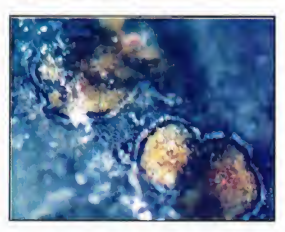
El meteorito ALH 84001 fue cortado para efectuar los primeros análisis.



Imagen tomada con un microscopio electrónico de la estructura interna del meteorito ALH 84001.



Detalle fotográfico en el que aparecen algunas burbujas de carbonato presentes en el meteorito ALH 84001.





Panorama marciano fotografiado por la sonda Viking. Recuerda algunos desiertos de Estados Unidos, rocosos y polvorientos.

Luego, al volver a analizar los datos, se vio que podía darse una explicación que no implicaba la presencia de organismos vivos en el suelo de Marte. El suelo marciano es diferente del nuestro y probablemente posee un catalizador inorgánico especial, capaz de fijar los gases y convertirlos en moléculas orgánicas.

Una confirmación la podría dar el análisis espectroscópico del polvo del planeta rojo: las características mencionadas derivarían de algunos tipos de arcillas. La reproducción en la Tierra de los mismos experimentos con arcillas terrestres dio idénticos resultados positivos. Entonces se comprendió que aquellos materiales inorgánicos eran capaces de catalizar algunas reacciones químicas «imitando» lo que hacen los organismos vivos.

Estos inesperados resultados confundieron a los investigadores del proyecto. ¿Podían explicarse en clave inorgánica todos los resultados microbiológicos de las sondas Viking? Si por una parte los experimentos con las arcillas terrestres debilitaban todavía más la hipótesis de vida en Marte, por otra tampoco había pruebas seguras para la completa exclusión de tal posibilidad.

Los experimentos con las arcillas continuaron en los laboratorios terrestres, donde se comprobó que son un catalizador en la combinación de aminoácidos en moléculas de cadena larga similares a las proteínas. Antes de que la vida se desarrollara en la Tierra, podrían haber representado una importante etapa intermedia con la agregación de aminoácidos.

LOS RESTANTES EXPERIMENTOS

Los experimentos de química orgánica resultaron negativos. En las muestras de tierra de Marte analizadas por las dos sondas Viking (que aterrizaron a 5.000 km de distancia una de otra) no se hallaron moléculas orgánicas ni sus fósiles. Tampoco se descubrió la presencia de proteínas ni de hidrocarburos sencillos, tan comunes en la Tierra.

En definitiva, puede decirse que el conjunto de resultados de los experimentos de química orgánica, de los microbiológicos y de las observaciones visuales de la superficie del planeta permite concluir que no hay formas de vida. Pero falta todavía un análisis de las muestras tomadas en el subsuelo o bajo las rocas.

Exigencias de seguridad llevaron a los organizadores de la misión a hacer aterrizar las dos sondas en lugares «seguros», unos páramos alejados de cualquier formación o estructura que pudiese representar un peligro para las Viking. Sin embargo, esto también significaba que eran los lugares menos interesantes para buscar vida; de ahí que los resultados negativos de las sondas Viking dejaran dudas en los científicos. Sólo una investigación más profunda (con tomas de materiales a diversas profundidades) y extendida a zonas diferentes del planeta hubiera podido disipar todas las dudas.

Problemas políticos y económicos, unidos al fracaso de las últimas misiones, tanto estadounidenses como rusas, obligaron al bloqueo de las misiones en Marte. Pero el reciente éxito de la sonda Mars Pathfinder con el robot Sojourner ha renovado el entusiasmo de los especialistas, y sobre todo de la opinión pública, por el único planeta en el que posiblemente podría producirse un desembarco humano en tiempos bastante próximos.

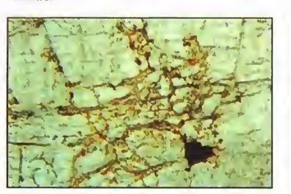
UN EXTRAÑO ASTEROIDE

Para los miembros de una expedición estadounidense en busca de asteroides,

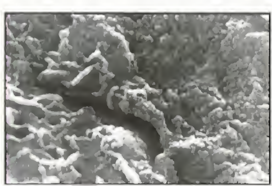
Una de las estructuras del meteorito ALH 84001, ampliada posteriormente. Podría tratarse de restos fósiles de bacterias marcianas.



Imagen al microscopio electrónico en la que se ven extrañas estructuras de forma tubular más finas que una centésima parte de un cabello humano.



Las estructuras visibles fueron encontradas en los carbonatos y, según los científicos que analizaron el meteorito, se trata de fósiles de organismos que vivieron en Marte en los comienzos de su historia.





Otra vista del suelo marciano tomada por la Viking. Al fondo, una parte del firmamento indica la existencia de una tenue atmósfera.

el 27 de diciembre de 1984 era un día como los demás. Aquel día encontraron en la Antártida un meteorito de color verdoso y de 1,9 kg de peso.

El 7 de agosto de 1996 se anunció a la comunidad científica que, al menos en un pasado remoto, podría haber existido vida en Marte. Un equipo de investigadores del Johnson Space Center (NASA) afirmaba que había encontrado las primeras pruebas experimentales de vida extraterrestre en el interior de aquel meteorito hallado casualmente 12 años antes. Había residuos fósiles de minúsculos organismos que vivieron en Marte hace más de 3.500 millones de años en el meteorito ALH 84001 (ALH por el lugar del hallazgo, Allan Hills; 84, por el año del descubrimiento; 001, porque fue el primero del año).

Las pruebas presentadas no son en sí mismas definitivas (para cada una de ellas hay explicaciones alternativas), pero los encargados de los análisis sostienen que, en su conjunto, permiten deducir que en Marte ha existido vida. Lo más curioso es que para sostener esta tesis no fue necesario mandar una costosísima sonda a investigar en el planeta rojo, sino que en cierto modo fue el propio planeta el que nos envió una parte de sí mismo.

UN LARGO VIAJE

Un asteroide o un cometa que choque oblicuamente contra el suelo de un planeta puede provocar la expulsión de material a una velocidad superior a la de fuga. Entonces las rocas expulsadas empiezan a orbitar alrededor del Sol de manera caótica hasta que son capturadas por la gravedad de otros planetas. Se han identificado 12 meteoritos de origen marciano, pero sin duda hay muchos otros que todavía no se han descubierto. Que ALH 84001 perteneciese a este pequeño número de cuerpos no resultó evidente hasta 1993, cuando se descubrió que los gases atmosféricos encerrados en la roca tenían exactamente las mismas proporciones de gases raros que la atmósfera de Marte. Esta comparación fue posible después de las investigaciones efectuadas con las sondas Viking; las características comunes con los demás meteoritos permiten mantener la certeza de que este meteorito procede de Marte.

ALH 84001 es tres veces más viejo que otros meteoritos marcianos y está compuesto de material fundido (a 1 km por debajo de la superficie) de la época en que Marte se estaba formando (hace 4.500 millones de años).

Las estimaciones que se han hecho dan a entender que se alejó del planeta hace 15 millones de años, que cayó en la Tierra hace unos 13.000 años y que permaneció sepultado bajo el hielo hasta 1984.

Detalle del suelo de Marte cerca de una de las patas de la sonda Viking que tomó la fotografía.





Una mancha irregular de carbonato hallada por los investigadores del Johnson Space Center que analizaron el meteorito marciano.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

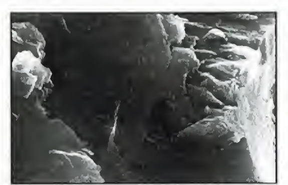
Una vez confirmada su naturaleza marciana, esta pequeña roca fue sometida a controles rigurosísimos.

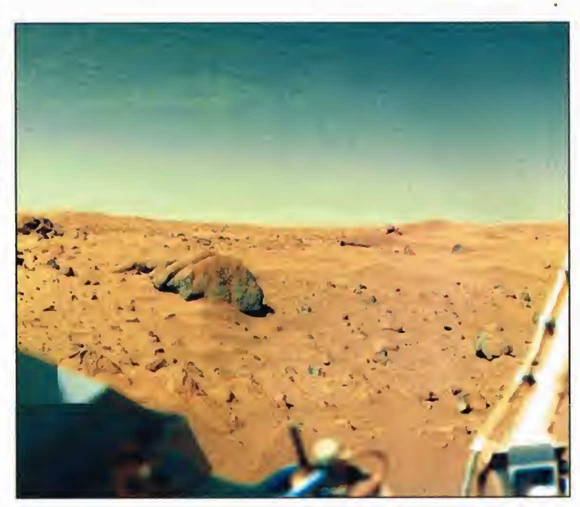
Se hallaron minúsculos glóbulos de carbonato, cuya capacidad para cristalizar en presencia de agua –ingrediente fundamental para la vida– es bien conocida. Se emplearon tres métodos para datar los carbonatos, y todos ellos remontan su origen a 3.600 millones de años. Esto hace pensar que en aquella época el agua se filtraba a través de las fisuras de un suelo en proceso de desertización.

En el interior del meteorito se hallaron moléculas orgánicas (compuestos basados en el carbono, materia prima de la vida); esto no había sucedido nunca en rocas marcianas. Se trata, concretamente, de hidrocarburos policíclicos aromáticos, un tipo de moléculas que, cuando fosilizan, se convierten en carbón y petróleo. Al morir los microbios, el material orgánico que contienen suele degradarse en las moléculas halladas.

Los investigadores observaron los glóbulos de carbonato con potentes microscopios electrónicos y encontraron en su interior pequeñísimos minerales, residuos de una actividad biológica. Algunos de estos minerales contenían hierro y oxígeno (magnetita), sustancias que normalmente producen los microbios terrestres; otros estaban compuestos de sulfuro de hierro.

Fotografía tomada con un microscopio electrónico de una pequeña lasca del meteorito ALH 84001, presuntamente desprendido de Marte y que llegó a la Tierra.





Fotografía del suelo marciano cerca del punto en el que aterrizó una de las sondas Viking. Puede verse la mayor masa que han descubierto estas sondas.

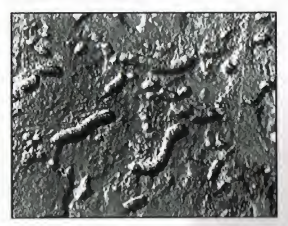
La última prueba la aportaron las imágenes (tomadas con microscopios muy potentes) de algunas estructuras microscópicas en forma alargada u oval. Según los científicos que efectuaron los análisis, se trataría de restos fósiles de microbios marcianos.

LA POLÉMICA SOBRE LA VIDA

Las dudas están provocadas por la posible «contaminación» de la roca con bacterias terrestres durante los 13.000 años de permanencia del meteorito bajo el hielo. Una respuesta podría ser la siguiente: la mezcla de hidrocarburos policíclicos aromáticos que se ha hallado no es la típica de la Antártida. Además –lo que es todavía más importante–, la concentración de moléculas orgánicas va aumentando progresivamente en las capas más internas del meteorito.

Si es cierto que pueden formarse cristales de magnetita sin la intervención de organismos vivos, no lo es menos que, tal como sostienen los autores del descubrimiento, hay que tener en cuenta que la forma de los cristales obtenidos de residuos orgánicos es diferente de la que se obtiene de un proceso inorgánico.

Otra imagen de las que podrían ser las primeras formas de vida extraterrestre vistas por el hombre y guardadas como restos fósiles en el meteorito ALH 84001.



CONCLUSIONES

En definitiva, las pruebas que ha aportado el estudio del meteorito ALH 84001, aun no siendo definitivas, proporcionan una buena base para renovar el interés por este fascinante planeta. El meteorito sigue siendo objeto de análisis con el fin de buscar una prueba decisiva: restos de paredes celulares y otras estructuras. Acabaremos con las palabras de los hombres que durante dos años han estudiado sin descanso la roca marciana: «Hemos hallado un conjunto de elementos cuya presencia puede explicarse con relativa facilidad recurriendo a la biología. También puede explicarse con la química inorgánica, pero no de una manera tan sencilla».

DESTELLOS GAMMA

Destellos misteriosos de rayos gamma que se producen imprevisiblemente en el firmamento... Pero ¿proceden de la Vía Láctea o de los límites del universo conocido?

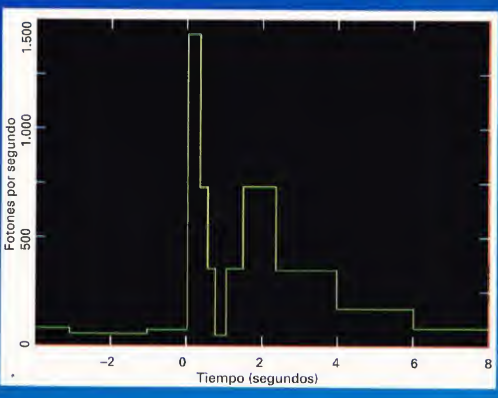


Cada día, violentas explosiones de rayos gamma rasgan el firmamento. Desde su descubrimiento, ocurrido casualmente hace 30 años, el origen de estos fenómenos está envuelto de misterio. ¿De dónde proceden estas explosiones? ¿Se originaron en galaxias lejanas o en cuerpos que pertenecen a la nuestra? Quizá los recientes descubrimientos hacen posible sugerir una respuesta a una serie de preguntas que han preocupado a los astrónomos de todo el mundo durante más de un cuarto de siglo.

CASCADAS DE ENERGÍA

Los destellos gamma, o *gamma-ray bursts* (GRB) en inglés, consisten en violentas explosiones que se producen en el firmamento en un número casi constante y que en pocos segundos vierten verdaderas cascadas de energía en forma de radiación electromagnética de alta energía: los rayos gamma. Hay un hecho que hace todavía más misteriosos y huidizos estos fenómenos: se «encienden» en el firmamento de manera absolutamente casual. En otras palabras, aunque se observe un destello gamma, es imposible prever cuándo se producirá el próximo y, sobre todo, dónde. Por otra parte, estos fenómenos no son recurrentes: una vez se ha observado uno, puede tenerse la certeza casi absoluta de no volverlo a ver nunca más.

El primer destello gamma se observó el 2 de julio de 1967 y fue registrado simultáneamente por los satélites Vela 3 y Vela 4. Por desgracia, en aquella época la resolución temporal de los detectores de a bordo no bastaba para identificar la dirección de procedencia de la explosión con la técnica de la triangulación. Por eso, al principio, la localización del fenómeno permaneció ignorada. La figura de abajo muestra la curva de luz de la explosión (fotones gamma medidos en función del tiempo) en la erupción del 2 de julio.



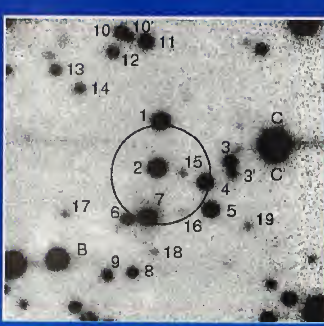


Imagen tomada por el telescopio Keck a fin de identificar la contrapartida óptica de la fuente X representada por el círculo. Probablemente se trata de la galaxia que lleva el número 7.

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS GRB

Es curioso que uno de los mayores enigmas –quizá el mayor en términos absolutos– de la astronomía de este siglo fuera descubierto por casualidad. La historia empieza a comienzos de los años sesenta, cuando la aviación militar de Estados Unidos decidió poner en órbita una serie de satélites militares destinados al control de posibles experimentos nucleares en la atmósfera por parte de la Unión Soviética, rigurosamente prohibidos por los tratados nucleares firmados por aquel entonces. A esta serie de satélites se le dio el nombre de Vela (del verbo español *velar*, vigilar). Las primeras explosiones «sospechosas» de rayos gamma se registraron en la segunda mitad de los años sesenta, pero no se llegó a ninguna conclusión en espera de más indicios. Entretanto, los datos acumulados entre 1969 y 1972, gracias a los recientes satélites Vela 5 y Vela 6, permitieron descartar que aquellas explosiones provinieran de la Tierra y que, por tanto, tuvieran relación con experimentos nucleares soviéticos. Por tanto, su origen debía de ser no sólo extraterrestre, sino además extrasolar.

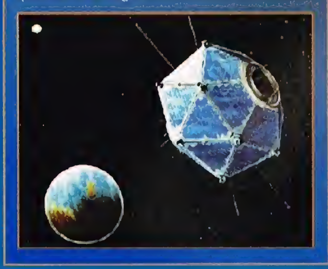
ALGUNOS PROBLEMAS DE FONDO

Una vez establecido el origen cósmico de los GRB, quedaba por determinar qué cuerpos celestes del universo o de nuestra Galaxia podían producir fenómenos tan violentos y súbitos. Naturalmente,

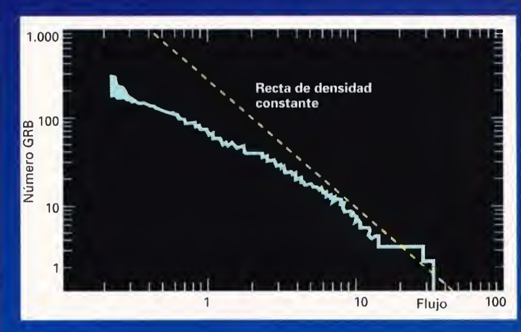


LOS SATÉLITES DE LA SERIE VELA

Para cumplir mejor la misión asignada, los satélites Vela fueron diseñados para trabajar en pareja. Los dos satélites se ponían en órbita circular alrededor de la Tierra a una distancia de unos 125.000 km, pero en puntos diametralmente opuestos, de modo que garantizaran la cobertura total del planeta. Como debían controlar si se producían explosiones nucleares, los satélites Vela estaban dotados de la instrumentación necesaria (puesta a punto por los laboratorios científicos de Los Álamos) para detectar radiación electromagnética de alta energía (rayos gamma) y los neutrones que se producen a consecuencia de las reacciones nucleares. Los resultados más significativos de la serie Vela se obtuvieron con el par Vela 5a y 5b, lanzados en 1969, a los que siguieron al cabo de pocos meses el Vela 6a y el Vela 6b. El Vela 5 y el Vela 6 llevaban 6 detectores de rayos gamma sensibles a fotones en el intervalo de energía comprendido entre 150 y 750 keV. Estos satélites registraron, a lo largo de unos 10 años, 73 GRB. Respecto a los satélites de la misma serie, el Vela 5 y el Vela 6 no sólo podían registrar destellos gamma, sino también establecer, aunque con una incertidumbre del orden de varios grados, la dirección de llegada de tales rayos γ, por tanto, indicar la posición celeste de la fuente que los había originado.



la posibilidad de asociar estos acontecimientos con algún cuerpo celeste conocido (estrella, galaxia u otro) depende de la precisión de su posición. Para las fuentes de rayos gamma, el error sobre su posición raramente es inferior al grado, y para los GRB casi siempre es superior a los tres grados. Todo cuanto puede decirse es que el GRB se ha producido dentro de un círculo (límite de error) de al menos tres grados de radio. Se trata, por consiguiente, de un área muy grande (para tener una idea, digamos que el diámetro de la luna llena es de apenas medio grado). El número de cuerpos celestes que pueden caer casualmente en tal región del firmamento es, al menos, de varios millares, lo que reduce drásticamente las esperanzas de poder identificar entre ellos al causante. Dado que el salto entre el



Arriba, gráfica logarítmica característica de los GRB conocidos hasta ahora. Como se ve, la distribución sigue con bastante fidelidad la recta teórica (de pendiente $-^{3}/_{2}$) correspondiente a una densidad radial de fuentes constante para flujos elevados. En cambio, a flujos inferiores, hay una sensible separación. Como se explica en el texto, esto significa que, mientras la densidad radial de las fuentes más brillantes (más próximas) es casi constante, la de las más débiles (más alejadas) aparece siempre más rarificada.

firmamento gamma y el óptico, infinitamente más poblado de objetos, es demasiado brusco, resulta evidente que primero hay que buscar posibles contrapartidas de longitudes de onda intermedias, por ejemplo en rayos X. La elección de esta banda de energía no es casual. Resulta razonable pensar que el mismo proceso que provoca la emisión de rayos gamma haya producido una «cola» de energías inferiores, como los rayos X. Una vez asociado el destello con una determinada fuente X, es plausible intentar la búsqueda de la contrapartida óptica de esta última, dado que en los rayos X los errores sobre las posiciones se reducen a «apenas» unos segundos de arco. Sin embargo, las cosas no son tan fáciles como parecen. En primer lugar, la coincidencia posicional entre el GRB y una fuente X no significa necesariamente una asociación entre ambos. Existe la posibilidad de una superposición casual nada despreciable. Por otra parte, los GRB no tienen una «firma» característica fácilmente reconocible, como ocurre con los púlsares. Un púlsar que emita rayos gamma pulsantes se asocia automáticamente a una fuente X de campo siempre que ésta pulse exactamente con el mismo período. Finalmente, como los GRB son fenómenos tan intensos como breves, es probable que la posible contrapartida X «se apague» con igual rapidez. En tal caso, las fuentes X identificadas en los límites de error podrían no tener nada que ver con el fenómeno que se está investigando.

Por tanto, la única posibilidad es recoger el acontecimiento simultáneamente en rayos gamma y X y observar el firmamento sistemáticamente con instrumentos que trabajen en paralelo en ambas bandas. Una fuente que «destella» en el firmamento a la vez en rayos gamma y en rayos X ha de ser la misma. Aunque ésta parece ser la estrategia prevalente, no carece de problemas prácticos. Ante todo, los instrumentos gamma tienen un campo de visión mayor que en X y, por tanto, es posible que un acontecimiento observado por los primeros caiga «fuera de campo» para los segundos. Así pues, la única alternativa consiste en apuntar *a posteriori* los instrumentos X hacia el blanco. Pero el cambio de dirección del apunte de un satélite requiere



Las muestras de GRB conocidos han aumentado sensiblemente durante los últimos años gracias al BATSE (Burst and Transient Source Experiment), instrumento dedicado al estudio de los GRB, instalado a bordo del satélite para astronomía gamma CGRO (Compton Gamma Ray Observatory) de la NASA. El BATSE está formado por ocho detectores dispuestos en octaedro, capaces de escrutar el firmamento en todas direcciones y localizar un acontecimiento mediante la técnica de la triangulación, en este caso aplicada a escala reducida.

tiempo y, por más deprisa que se proceda, siempre son necesarios uno o dos días. Pero, entretanto, la contrapartida X tiene tiempo suficiente para desaparecer y, con ella, las esperanzas de los astrónomos de captar el GRB. Prevenir el fenómeno es imposible, ya que, como hemos visto, los GRB se caracterizan también por no repetirse nunca, además de no proceder jamás de la misma zona del firmamento (con una notable excepción), con lo que la búsqueda de una contrapartida con otras longitudes de onda es extremadamente complicada.

LA PROCEDENCIA DE LOS GRB

A falta de más indicios, el estudio de la distribución celeste de estos acontecimientos puede proporcionar algunas indicaciones útiles sobre su origen y la naturaleza de los cuerpos que los causan. Pero este estudio no ha dado los resultados esperados. La distribución celeste de los GRB parece ser absolutamente isótropa, es decir, su número calculado por grado cuadrado de cielo es casi constante. Por tanto, la falta de una concentración muy marcada en una región determinada del firmamento impide poderlos asociar a una clase particular de objetos. Esto, unido a la falta de información sobre la distancia, elimina casi totalmente cualquier esperanza de poder determinar la identidad de las fuentes.

Por consiguiente, las hipótesis posibles pueden basarse en algunas sugerencias derivadas de la distribución del flujo de estas fuentes, la llamada función LogN-LogS. El gráfico muestra que el número de fuentes de bajo nivel de flujo resulta inferior al que podría esperarse en caso de que la distribución fuese isótropa, excluyendo efectos

La figura de la derecha muestra algunas de las posibles regiones de procedencia de los GRB en nuestra Galaxia: 1) hipótesis heliocéntrica; 2) hipótesis local; 3) hipótesis local extendida; 4) hipótesis del halo galáctico extendido.

Halo extendido

(4)

100 kpc

(3)

12 kpc

Disco
kpc

55 kpc

N49

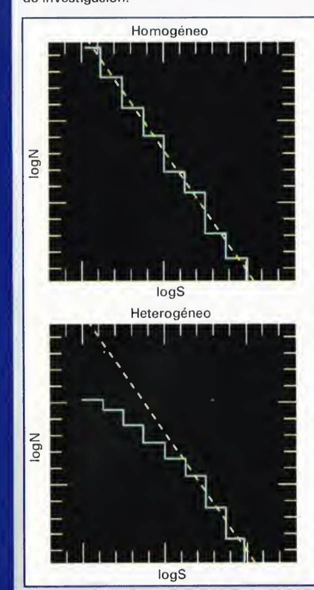
Gran Nube de
Magallanes

(2)

LA GRÁFICA LogN-LogS

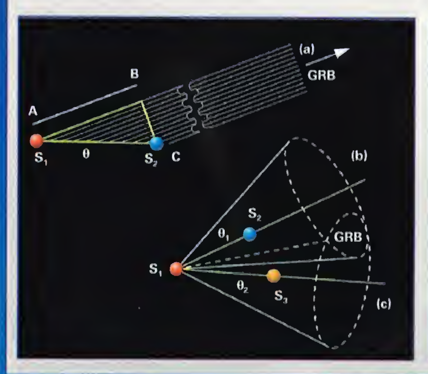
Trazando el histograma correspondiente al número N de fuentes con flujo mayor que un determinado valor S, pueden obtenerse informaciones útiles acerca de la distribución radial de una determinada población de fuentes.

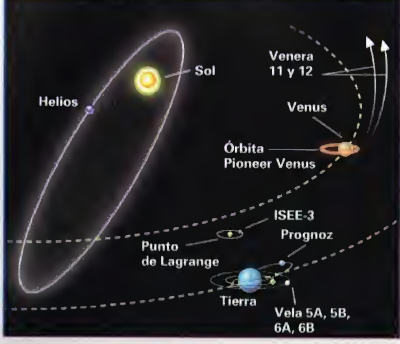
Como por una mera cuestión de comodidad N y S se expresan en unidades logarítmicas decimales (Log), el histograma se llama LogN-LogS. Supongamos que la densidad radial de la muestra de fuentes considerada sea isótropa, es decir, igual en todas direcciones. En tal caso, el número de fuentes aumentará con el cubo de la distancia. Por otra parte, si admitimos que todas tienen la misma luminosidad intrínseca, su flujo disminuirá con el cuadrado de la distancia. Combinando estas dos relaciones, se obtiene que el número de fuentes aumentará proporcionalmente al flujo elevado a $-^3/_2 (N \propto S^{-3/2})$. Pasando a escala logarítmica, se tiene $\mathrm{Log}N \propto -^3/_2 \mathrm{Log}S$. Esta relación está representada por una recta de pendiente $-^3/_2$. Por tanto, comparando la LogN-LogS de una muestra determinada, puede tenerse una idea de su desvío de una distribución radial isótropa. A pesar de las incertidumbres (por ejemplo, no se dice que la luminosidad intrínseca de las fuentes deba ser igual), la LogN-LogS constituye un importante método de investigación.



LA TÉCNICA DE LA TRIANGULACIÓN

Como los GRB son fenómenos absolutamente imprevisibles, los instrumentos de detección fueron concebidos para observar simultáneamente todo el firmamento. Si bien esto garantiza la certeza de poder registrar un acontecimiento independientemente de dónde ocurra, también implica la imposibilidad de determinar su dirección. Por eso, se trata de una detección «a ciegas». Para determinar la dirección de llegada de un GRB, los satélites Vela 5 y Vela 6 utilizaron una técnica conocida como triangulación, que fue posible gracias a la resolución mejorada de los detectores de a bordo, con mucho inferior al segundo, capaz de registrar el momento en que ocurría una explosión antes de que ésta fuera detectada por el satélite gemelo situado en la parte opuesta de la órbita. Precisamente un segundo era el tiempo que una señal electromagnética empleaba para propagarse entre los dos satélites.
El principio básico de la técnica de la triangulación es sencillo. Un acontecimiento es registrado primero por el satélite S_1 y, después de un tiempo Δt, también por el satélite S_2 (a). La proyección de la distancia entre S_1 y S_2, a lo largo de la dirección de incidencia del frente de onda plano (en primera aproximación) de la radiación gamma, es igual a: c(velocidad de la luz) · Δt.
Por un simple teorema de trigonometría, conocida la distancia entre los dos satélites y $c\Delta t$, puede calcularse inmediatamente el ángulo (en realidad, su coseno) que da la semiamplitud del cono que define todas las posibles direcciones de llegada de los rayos gamma (b). Esta técnica se basa fundamentalmente en la medida de Δt, lo que explica por qué la resolución temporal de los instrumentos es tan crítica. Repitiendo la medida, pero empleando esta vez los satélites S_2 y S_3, puede definirse igualmente un nuevo cono de llegada (c). La intersección entre los dos conos limita las dimensiones del ángulo de visión y, por tanto, la incertidumbre sobre la posición de la fuente. Evidentemente, aumentando el número de triangulaciones, la incertidumbre se reduce.
En definitiva, la localización de la explosión en la bóveda celeste resultaba tanto más precisa cuanto mayor era el número de satélites en la cadena de detección y, para reducir el error porcentual en la medida de Δt, cuanto mayor era también la distancia entre ellos. Por este motivo, en los años setenta y ochenta, el posicionamiento de los GRB aprovechaba la colaboración de una red de satélites (Interplanetary Network o IPN), algunos de los cuales estaban en órbita obedeciendo a otros propósitos, pero equipados también con detectores de rayos gamma.



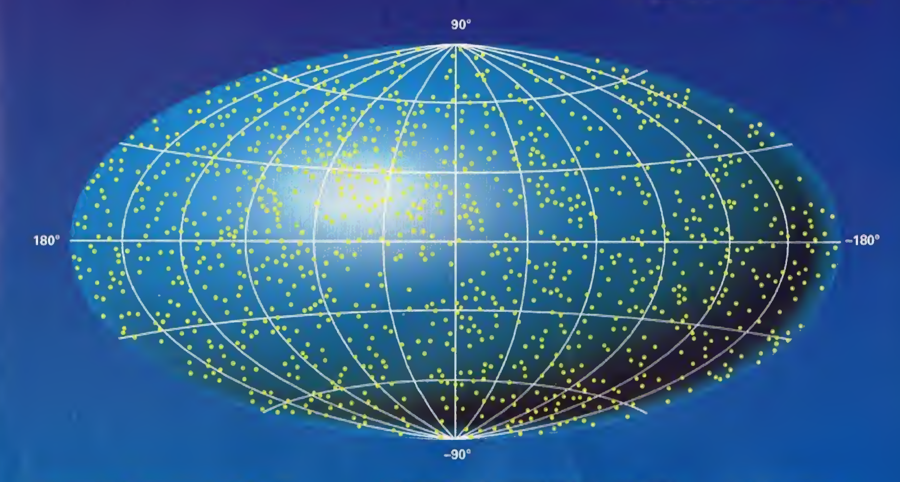


instrumentales y errores sistemáticos. Así pues, el déficit de fuentes más débiles, es decir, más distantes, implica que la distribución va disminuyendo poco a poco yendo a distancias cada vez mayores. Esta conclusión, junto con la isotropía de la distribución celeste, puede utilizarse como una prueba muy útil para identificar la región de procedencia de los GRB. Obviamente, sobre éstos existen muchas hipótesis basadas en diversas escalas de distancias.

HIPÓTESIS GALÁCTICAS

La primera es la llamada hipótesis heliocéntrica, según la cual, las fuentes de los GRB estarían concentradas en la inmediata proximidad de nuestro sistema solar, dentro de una esfera de unos pocos parsecs de radio centrada en el Sol. Es una hipótesis que estaría de acuerdo con los resultados observados, pero queda por verificar la existencia de tal distribución heliocéntrica de materia.

La segunda hipótesis, llamada local, prevé que aquellas fuentes pueblen una región esférica más extensa, centrada siempre alrededor del Sol, cuyo diámetro sería inferior al espesor del disco galáctico. Pero esta hipótesis tropieza con una dificultad evidente. En realidad, aun admitiendo la existencia de una distribución celeste isótropa, no podría explicar por qué la densidad radial de fuentes disminuye con la distancia como lo sugiere la LogN-LogS, ya que se prevé que la densidad galáctica local es constante. Una posible alternativa es la hipótesis local extensa, en la que las fuentes estarían concentradas dentro de una esfera de diámetro superior al espesor del disco galáctico. Esta hipótesis satisface las relaciones de la gráfica LogN-LogS, puesto que la densidad radial de las fuentes disminuiría fuera del disco, pero contradice la distribución celeste. Si tal hipótesis fuera cierta, podría esperarse encontrar un número mayor de fuentes a lo largo del plano del ecuador galáctico,



pero no es así. Igualmente, si estas fuentes estuvieran distribuidas en una esfera centrada alrededor no ya del centro del Sol, sino del de la Galaxia, debería observarse una concentración mayor en la zona del centro que en la del anticentro.

Por consiguiente, la única posibilidad de salvar el origen galáctico de los GRB consiste en considerar la hipótesis del halo galáctico. En este caso, toda nuestra Galaxia estaría rodeada de un halo cuyo radio debería ser mucho mayor que el galáctico. Además, la disminución radial de fuentes impuesta por la LogN-LogS sería respetada y, como nuestra distancia al centro galáctico (10 kpc) sería pequeña respecto a las dimensiones del halo (100 kpc), cualquier posible desviación de una distribución celeste isótropa sería indistinguible.

HIPÓTESIS EXTRAGALÁCTICAS Y COSMOLÓGICAS

Lógicamente, junto a las hipótesis galácticas están las extragalácticas, pero también éstas son susceptibles de ser excluidas. Si fuesen las correctas, podría esperarse una concentración mayor de fuentes en coincidencia con los cúmulos de galaxias, una coincidencia de la que no se tiene conocimiento.

La última hipótesis, llamada «cosmológica», es la más sencilla conceptualmente y, precisamente por este motivo, es quizá la que goza de mayor crédito entre la comunidad astronómica. Según esta hipótesis, estas fuentes llenarían todo el universo, y tanto su distribución celeste como su distribución radial serían absolutamente isótropas. Ninguna contradicción. La disminución de fuentes distantes requerida por la LogN-LogS se explicaría, simplemente, con la expansión del universo.

LOS POSIBLES ORÍGENES DE LOS GRB

Según algunos defensores de la hipótesis heliocéntrica, la procedencia de los GRB habría que buscarla dentro de la Nube de Oort, antiguo nido de cometas. Uno de los modelos en los que se basa la hipótesis heliocéntrica es que los GRB tienen su origen en explosiones nucleares desencadenadas por colisiones entre cometas y agujeros negros primordiales.

En la hipótesis galáctica del halo, en cambio, los GRB se deberían a la fusión entre pares de estrellas de neutrones, con liberación de energía gravitatoria en forma de rayos gamma. Hasta hace unos pocos años, esta posibilidad parecía poco creíble por la dificultad de las estrellas de neutrones en migrar desde el plano galáctico, donde nacen, hasta la región del supuesto halo en escalas de tiempo razonables. En cambio, las nuevas medidas efectuadas sobre los movimientos propios de los púlsares radio han demostrado que éstos pueden moverse con velocidades de hasta 1.000 km/s. Si realmente las galaxias como la nuestra están rodeadas de tal halo, es razonable pensar en la presencia de GRB incluso alrededor de M31. Precisamente en dicha dirección se orientan las investigaciones de los defensores de esta hipótesis.

En teoría, la hipótesis cosmológica podría verificarse fácilmente, puesto que los acontecimientos más débiles (más distantes) deberían tener una duración más breve que los más intensos (más próximos), a causa de la dilatación temporal de la señal debida a la expansión del universo. Pero faltan todavía muchas pruebas en este sentido. Si realmente las fuentes de los GRB se encontraran a distancias cosmológicas, su luminosidad debería ser enorme, como la de las supernovas más violentas.

Las observaciones efectuadas por el BATSE durante 7 años permitieron la identificación de más de mil GRB, que constituyen una muestra estadísticamente significativa para estudiar su distribución celeste. La figura muestra el mapa de las posiciones de los GRB detectados por el BATSE, expresado en coordenadas galácticas. Como se ve, no existe ninguna región celeste que presente una concentración más elevada que otra.

EL POTRO

El Potro es una de las constelaciones menos vistosas del hemisferio norte de la esfera celeste.



Como la mayoría de las constelaciones que se encuentran en el hemisferio boreal, el Potro o Caballito ya se observó en la Antigüedad. Probablemente, Tolomeo lo incluyó en las constelaciones que figuran en su obra.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El Potro se encuentra cerca de otra pequeña constelación de origen igualmente remoto: el Delfín. Para encontrar el Potro en la bóveda celeste hay que observar el firmamento al este del rombo del Delfín. Veremos, no sin dificultades, un pentágono irregular compuesto de pequeñas estrellas de magnitud cuatro o superior: ésta es la constelación que estamos buscando.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Podemos empezar la exploración de este grupito de estrellas partiendo de la más luminosa, Alfa, de magnitud 3,9. Esta estrella es conocida como Kitel Phard, que significa «la anterior al caballo». Su luz amarilla nos llega después de haber recorrido un camino de 150 años luz, y nos proporciona una valiosa información: este astro posee una compañera no separable con los telescopios terrestres, pero sí detectable con técnicas espectroscópicas.



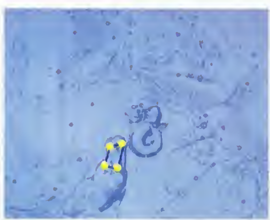
Zona celeste con el Potro y el Delfín. Estas dos pequeñas constelaciones se observan mejor hacia finales de la estación estival.

Una estrella enigmática es Gamma, una variable que oscila entre las magnitudes 4,6 y 4,8. Resulta problemática porque no puede establecerse para ella un período de variabilidad unívoco. Pertenece a una clase de objetos con fuertes campos magnéticos en su superficie que varían con el tiempo. También el espectro muestra alteraciones. Normalmente, se le atribuye un período de 314 días, pero si también se tienen en cuenta las variaciones de los campos magnéticos y del espectro, se observan períodos que van desde poco más de dos semanas hasta 72 años.

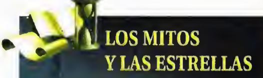
Bastante menos complicada es Delta, compuesta por un par de astros que orbitan uno alrededor del otro. Los dos objetos en cuestión tienen magnitudes de 5,2 y 5,3, y el período orbital es de 5,7 años, con una separación que oscila de 0,37 a 0,1". Se trata de una de las binarias visuales conocidas con un período más breve: en general, podemos distinguir dos estrellas que giran una alrededor de la otra sólo si están suficientemente alejadas entre sí. Pero esto significa que el período de rotación ha de ser grande. En el caso de Delta tenemos suerte, porque podemos distinguir las dos estrellas, aunque sólo con instrumentos potentes, y observar su movimiento orbital en el lapso de unos pocos años. Esto se debe a la relativa proximidad del sistema, que está tan sólo a 59 años luz. Aproximadamente a 48" de la más luminosa de las dos estrellas, puede observarse un tercer astro de magnitud 9,4.

En realidad, Épsilon también es una estrella compuesta: se trata de un sistema formado por tres astros, dos de los cuales (con magnitudes 6 y 6,3) efectúan un movimiento orbital en un período de 101 años; su separación oscila de 0,1 a 1". El tercero es de séptima magnitud y está a unos 11".

La constelación del Potro no contiene objetos telescópicos de especial relieve.



La constelación del Potro o Caballito, como a veces se la llama, representa a Celeris, el hermano de Pegaso, que también tiene cerca su propia constelación.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL POTRO

El origen del Potro o Caballito no está muy claro, aunque lo cierto es que se remonta a la Antigüedad clásica. La primera indicación segura de esta pequeña constelación se encuentra en la obra de Tolomeo, el gran astrónomo griego.

El Potro nos recuerda la leyenda de Hipea, hija del centauro Quirón. Seducida por Eolo, Hipea huyó de las iras de su padre y se refugió en las montañas. Allí pasó su embarazo y dio a luz una niña. Pero Quirón halló su pista. Viéndose descubierta, Hipea se dirigió a los dioses, que, benévolamente, la transformaron en una yegua. Fue Artemis quien más tarde la puso en el firmamento como constelación.

DÓNDE BUSCARLA

EL POTRO

El Potro es más visible avanzado el verano y durante el otoño, cuando pasa en oposición al Sol. El fenómeno ocurre hacia el 10 de agosto. Abarca una región del cielo comprendida entre las 20 horas 55 minutos y las 21 horas 25 minutos de ascensión recta, y entre 2 y 13° de declinación, aproximadamente.


22h
AQUARIUS
PEGASUS
Beta
Alfa
0°
EQUULEUS
Delta
Épsilon
Gamma
DELPHINUS
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

DETECTORES DE NEUTRINOS

Los neutrinos son algunas de las partículas más huidizas que existen en el universo. Aunque quizá posean una masa mínima, su importancia a nivel cosmológico es fundamental. Por eso se construyen sofisticados aparatos capaces de detectar su paso.



En el «bestiario» de las partículas fundamentales que constituyen nuestro universo, una de las más misteriosas es seguramente el neutrino, un corpúsculo escurridizo carente de carga eléctrica.

UNA PARTÍCULA EVASIVA

A diferencia de la mayor parte de las demás partículas, el neutrino es muy difícil de detectar: su capacidad para interaccionar con la materia es mínima, de manera que su paso casi no deja rastro.

Uno de los principales motivos de esta evasividad hay que buscarlo en la ausencia de carga eléctrica: las partículas eléctricamente cargadas, como por ejemplo los electrones o los protones, dejan señales evidentes de su paso, ya que sufren choques con todas las partículas de la materia que atraviesan. Esto hace que dejen su señal en los sensores adecuados, como emulsiones fotográficas expresamente estudiadas, o las llamadas «cámaras de burbujas», donde el paso de partículas cargadas genera una hilera de burbujitas que pueden fotografiarse.

HISTORIA DE LOS NEUTRINOS

La existencia del neutrino se teorizó mucho antes de que su existencia fuese demostrada con un experimento.

El mérito de la introducción de esta partícula recae en el físico suizo Wolfgang Pauli.

Pauli recurrió al neutrino para salvaguardar uno de los principios «sagrados» de la física: el de conservación de la energía.

Con el descubrimiento de la radiactividad, debido a Becquerel y a los esposos Curie a finales del siglo pasado, la física de la época tenía que enfrentarse a nuevos problemas. Uno de ellos concernía a las sustancias que experimentan una desintegración beta, es decir, que emiten electrones.

Dichos núcleos cambian su estructura con la transformación simultánea de un neutrón en un protón y la emisión de un electrón: en este proceso, la carga eléctrica total se conserva, puesto que las cargas eléctricas del protón y del electrón son de igual magnitud pero de signo opuesto. El electrón huye del átomo y puede ser detectado, por ejemplo, mediante un contador Geiger.

En este proceso se libera cierta cantidad de energía en forma de energía cinética –es decir, de movimiento– del núcleo y del electrón.

Las leyes de la mecánica prevén que, durante un proceso de este tipo, las energías de los productos de la reacción estén bien determinadas, mientras que experimentalmente se ha visto que las energías de los electrones varían considerablemente.

En un primer momento se pensó que en la emisión beta no sería válido el principio de conservación de la energía, lo que permitiría que el electrón surgiese con una energía variable según cada caso. En cambio, Pauli demostró que se podía salvaguardar esta ley fundamental suponiendo que



Los neutrinos son partículas difíciles de detectar porque interaccionan muy débilmente con la materia. La Tierra está atravesada por un gran flujo de estas partículas, pero la mayoría «pasan» sin que nada las obstaculice. Los detectores de neutrinos suelen colocarse bajo las montañas para evitar que los rayos cósmicos que bombardean incesantemente la Tierra saturen estos dispositivos.



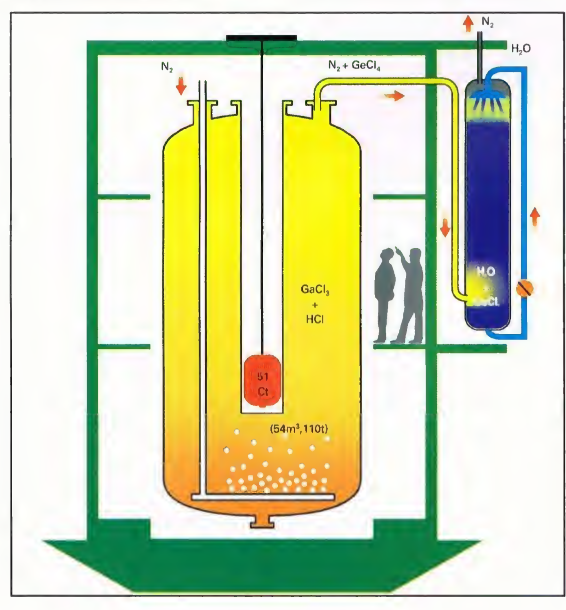
Uno de los procedimientos utilizados más recientemente para detectar los neutrinos consiste en disponer en el fondo de los océanos unos sensores capaces de captar los destellos de luz generados por partículas cargadas, producidas en el choque de neutrinos con núcleos de los átomos de la atmósfera o de la Tierra.

simultáneamente con el electrón se produce otra partícula. Este nuevo objeto no debe poseer carga, en primer lugar porque durante la desintegración beta, además de los electrones, no se detectan otras partículas cargadas; y, en segundo lugar, porque si la nueva partícula poseyese carga se violaría otro de los principios fundamentales de la física, que afirma que en todo proceso físico la carga eléctrica total se conserva. Este postulado es conocido como principio de conservación de la carga.

Por las medidas de energía de los electrones que se producen durante los fenómenos de desintegración beta, también se ha visto que la masa que posee tan fantasmagórica partícula –Fermi fue el primero en llamarla «neutrino»– tiene que ser pequeñísima, si no nula.

El primer experimento con el que se probó directamente la existencia de los neutrinos se efectuó en 1956, aprovechando los neutrinos producidos en las reacciones nucleares de una pila atómica. Las fantasmagóricas partículas atravesaban un contenedor con 400 litros de una solución de cloruro de cadmio.

En las profundidades del macizo del Gran Sasso, en la Italia central, dentro de un túnel excavado paralelamente a una autopista estatal, permanece activado un aparato para detectar y estudiar los neutrinos. Consta de un recipiente que contiene treinta toneladas de solución de cloruro de galio. Los neutrinos que chocan con un núcleo de galio lo transforman en un núcleo de germanio, que puede ser separado químicamente.

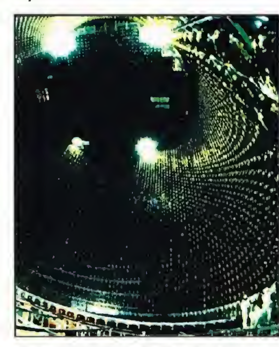


LA MASA DEL NEUTRINO

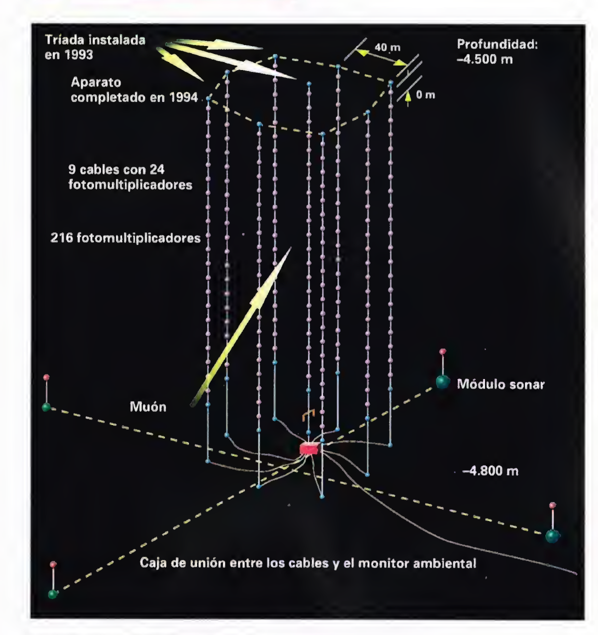
Los físicos suelen expresar la masa de las partículas en unidades de energía, aprovechando la conocida relación de Einstein $E = mc^2$, y midiéndolas en electrón-voltios (eV), donde 1 eV es la energía adquirida por un electrón que es acelerado por una diferencia de potencial de un voltio. Para tener una idea de la pequeñez del valor de 1 eV, piénsese que para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua, de 14,5 a 15,5 °C, se necesitan unos $2,5 \times 10^{19}$ eV.

En estas unidades, el protón tiene una masa aproximada de 10^9 eV (es decir, un gigaelectrón-voltio, 1 GeV); el electrón, una masa aproximada de $0,511 \times 10^6$ eV (medio megaelectrón-voltio, 0,511 MeV), mientras que se ha calculado que la masa del neutrino no puede ser superior a unas decenas de electrón-voltios. Por tanto, se trata de un valor realmente pequeño.

Alternativamente, podemos pensar que la masa de un protón es aproximadamente igual a $1,6 \times 10^{-24}$ g, la del electrón unas 1.800 veces menor y la del neutrino no puede ser superior a 1/25.000 de la del electrón.



Arriba, el detector de Kamiokande (Japón). Colocado dentro de una mina, se basa en el efecto Cerenkov, según el cual una partícula cargada eléctricamente que atraviesa un medio a una velocidad superior a la de la luz en este mismo medio (pero inferior a la de la luz en el vacío, que sigue teniendo un límite infranqueable), emite un destello de luz que puede ser detectado o ampliado con los sensores adecuados.



Frente a las costas de Hawai, a 4.800 m de profundidad, se ha dispuesto un complejo sistema de tubos fotomultiplicadores colocados a lo largo de nueve cables anclados en el fondo marino. Los fotomultiplicadores son aparatos electrónicos capaces de ampliar los débiles destellos de luz que producen, por efecto Cerenkov, las partículas generadas por el paso de neutrinos por la atmósfera o a través de la Tierra.

VARIOS TIPOS DE NEUTRINOS

Con los avances obtenidos en experimentos y teoría sobre la estructura de la materia, se ha visto que hay también otras reacciones que necesitan la introducción de los neutrinos para ser explicables. En estas reacciones no hay electrones, sino partículas de propiedades similares, emparentadas con el electrón. Tales partículas, conocidas como muones y partículas tau, tienen «sus» neutrinos, de manera que la familia de éstos está compuesta por tres miembros: el neutrino electrónico (el primero cuya existencia se teorizó), el muónico y el tauónico, a los que hay que añadir los respectivos antineutrinos.

Cada uno de estos tres neutrinos se produce en las reacciones en las que está implicada la respectiva partícula: por ejemplo, el neutrino tauónico aparece sólo en los procesos en los que interviene la partícula tau, pero no se producirá jamás durante la desintegración beta. A pesar de ello, recientes desarrollos teóricos prevén que un neutrino pueda cambiar de tipo durante su vida; por ejemplo, un neutrino electrónico podría convertirse, durante cierto tiempo, en un neutrino muónico.

A primera vista, esta hipótesis quizá parezca una abstracta especulación teórica, pero en realidad podría resultar muy importante a nivel cosmológico: las «oscilaciones» de los neutrinos, como son llamadas las transformaciones de estas partículas de un tipo en otro, sólo se producirían si los neutrinos tuvieran masa.

Un neutrino masivo resolvería muchos problemas a los científicos porque de esta manera sería posible comprender la cuestión de la materia oscura que rodea las galaxias. Esta materia sólo es detectable a través de los efectos gravitatorios que ejerce sobre las galaxias, modificando su rotación y los movimientos de los cúmulos; no es visible de ningún otro modo, dado que no emite ningún tipo de radiación. Los neutrinos no poseen carga, no pueden emitir luz, ondas radio, rayos X, etc., pero, si tuvieran una masa no nula, en grandes cantidades podrían alterar la dinámica de las galaxias y de los cúmulos.

Uno de los experimentos de última generación sobre neutrinos, conocido con el nombre de BOREXINO, se efectuará en los laboratorios instalados bajo el Gran Sasso.

También hay otra consecuencia muy importante: la posibilidad de que, con una masa del neutrino no nula, la densidad de la materia del universo sea superior a la crítica. En tal caso, la carrera de nuestro universo hacia la expansión sería cada vez más lenta: el universo frenaría su expansión hasta detenerse; se iría contrayendo sobre sí mismo hasta llegar a lo que los cosmólogos llaman el Big Crunch.

CÓMO HALLAR LOS NEUTRINOS

¿Cómo es posible señalar el paso de un neutrino?

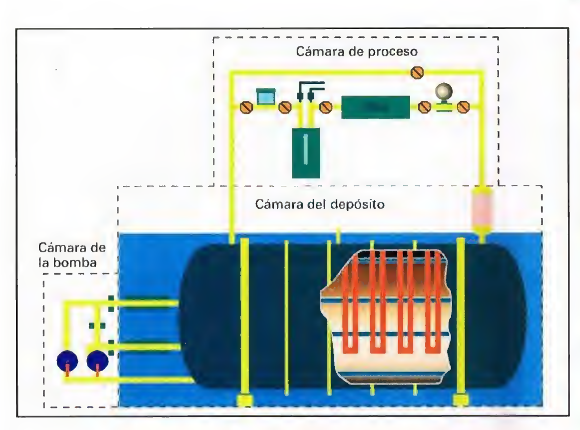
Como la masa del neutrino, aunque no igual a cero, es pequeñísima, no es posible detectarlo midiendo desplazamientos de otras partículas inducidas por ellos. La carga eléctrica es nula y, por tanto, no puede recurrirse a los detectores de partículas cargadas.

El problema parece insoluble, pero el neutrino se produce en fenómenos en los que interviene una de las dos fuerzas que regulan la dinámica de los núcleos atómicos: la llamada «fuerza nuclear débil». Por consiguiente, cabe esperar que los neutrinos puedan detectarse aprovechando esta fuerza, es decir, las reacciones nucleares inducidas por el paso de estas partículas.

Desafortunadamente, los neutrinos tienen la molesta propiedad de atravesar gruesas capas de materia como si ésta no existiese, porque para ellos la probabilidad de interaccionar con la materia es muy baja.

Por tanto, el modo más adecuado de construir un detector eficaz de neutrinos





En la mina de Homestake se desarrolló uno de los primeros experimentos para medir el flujo de los neutrinos procedentes del Sol. Con él se querían validar las teorías sobre el interior de las estrellas. En este experimento se midió por primera vez un flujo inferior al que teóricamente se preveía. El resultado fue confirmado posteriormente con experimentos más avanzados, como el GALLEX.

consiste en fabricar uno que sea lo más grande posible; pero un detector grande, además de señalar los neutrinos, señalará las restantes partículas que lo atraviesan. Por eso, es casi imposible descubrir las pocas huellas producidas por los neutrinos. De hecho, la Tierra es bombardeada constantemente por una enorme cantidad de partículas cargadas, los rayos cósmicos. Estos rayos producirían tantas señales espúreas que imposibilitarían el análisis de los datos.

La solución al problema consiste en colocar los detectores bajo las montañas o en las profundidades oceánicas: entonces, los rayos cósmicos, al interaccionar fácilmente con la materia, quedarían en gran parte detenidos por las rocas o por el agua, mientras que los neutrinos pasarían casi libremente.

DETECTORES DE NEUTRINOS

¿Cómo debe estar hecho un detector de neutrinos? Los neutrinos son liberados durante procesos nucleares, por lo que cabe esperar que existan reacciones nucleares en las que el choque de un neutrino con un protón o un neutrón del núcleo de cualquier átomo implique una reacción que dé subproductos fácilmente visibles.

Los físicos nucleares han encontrado algunas reacciones inducidas por los neutrinos que pueden utilizarse ventajosamente para descubrir estas fantasmagóricas partículas.

Recordemos la primera, la que se utilizó a mediados de los años cincuenta para probar la existencia de aquellas partículas. En esta reacción, un antineutrino choca con un protón y lo transforma en un neutrón, con producción simultánea de un positrón. Este último se aniquila con un electrón, produciendo un par de fotones gamma. Se hace de manera que el neutrón sea absorbido por un núcleo de cadmio, el cual emite un rayo gamma con un retraso de unos 15 microsegundos. La detección de rayos gamma separados por un retraso de 15 millonésimas de segundo prueba, pues, el paso de un neutrino.

Otra reacción «histórica» es la que aprovecha el experimento de Homestake. Con ella se intentó medir por primera vez la cantidad de neutrinos procedentes del Sol. En un contenedor con varias toneladas de un detergente compuesto de cloro, los neutrinos podían colisionar con los núcleos de este elemento, transformándolos en núcleos de argón. Un detector adecuado era capaz de medir el número de átomos de argón producidos por el paso de neutrinos.

Actualmente se busca también el aprovechamiento de la luz producida, por efecto Cerenkov, por las partículas cargadas que los neutrinos generan en el choque con algunos núcleos de los átomos que encuentran en su trayecto. Para producir luz Cerenkov, las partículas han de ser muy veloces, es decir, tener una velocidad muy superior a la de la luz en el medio que están atravesando. La luz es más lenta cuando pasa a través de un material, hasta el punto de que algunas partículas pueden ser más veloces que la propia luz en ese medio.

NEUTRINOS SOLARES

El resultado del experimento de Homestake proporcionó una desagradable sorpresa a los físicos y astrofísicos que trabajaban en las reacciones nucleares que se producen en el interior de las estrellas, porque el número de neutrinos detectados era muy inferior al que teóricamente se preveía. Posteriormente, este déficit ha sido confirmado por experimentos más recientes llevados a cabo con detectores de mayor sensibilidad.

Una explicación posible de esta anomalía podría ser la oscilación del neutrino de un tipo a otro. De este modo, un neutrino de tipo electrónico se transformaría en un neutrino de tipo diferente, más difícil de detectar.

Los estudios sobre neutrinos tienen una gran actualidad por su importancia en la validación de las teorías más recientes sobre la estructura de la materia, tanto en sus componentes más pequeños –las partículas subatómicas– como en las estructuras de gran extensión: las estrellas.

PERSONAJES

WOLFGANG PAULI



1900-1958

Al físico Wolfgang Pauli se debe la teorización de la existencia del neutrino. Pauli nació en Suiza en 1900 en el seno de una familia de origen austriaco y murió en 1958. Además de la introducción del neutrino, este científico es famoso por haber postulado el principio fundamental de exclusión, según el cual, para ciertas partículas, entre ellas los electrones, no pueden existir pares con la misma energía. En 1945, Pauli obtuvo el premio Nobel de física.

REDES INFORMÁTICAS E INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA

La adopción de sistemas electrónicos ha representado un gran avance en los procedimientos para archivar los datos de la investigación astronómica.



La creación de archivos y catálogos es fundamental para conservar de manera ordenada los datos y los conocimientos acumulados a lo largo de décadas de actividad científica. El trabajo de archivo, sin embargo, no ha de ser considerado solamente como un fin en sí mismo, ya que sobre las bases científicas adquiridas en el pasado se fundamentan, en gran parte, las investigaciones futuras. Por este motivo es importante que archivos y catálogos de todo tipo sean fácilmente accesibles y consultables. En este sentido, primero los ordenadores y luego la implantación de una red telemática mundial (Internet) han representado un gran avance.

Se tiende a pensar en los archivos como enormes contenedores en los que se introducen datos e informaciones poco recientes y, por consiguiente, de escasa utilidad. Nada más erróneo. En la investigación astronómica, los datos de archivo tienen una función tan importante como los datos que se obtienen de primera mano, y permiten conseguir resultados científicos que de otro modo serían inalcanzables.



Los ordenadores han revolucionado el trabajo de los astrónomos, que actualmente trabajan más con el teclado del ordenador que con el telescopio.

LA IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN DE ARCHIVO

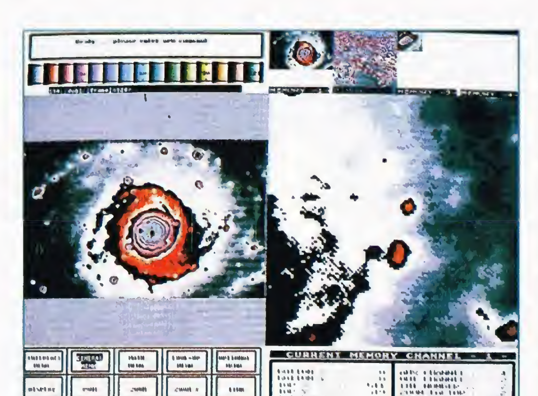
Ya hemos visto que en astronomía existen muchos tipos de catálogos: los referentes a clases especiales de objetos, las listas de observaciones y los datos de archivo recogidos tanto por los telescopios como por los satélites.

La página de entrada (http://www.journals.uchicago.edu/ApJ/journal/) de la prestigiosa revista **The Astrophysical Journal.**

Empleando adecuadamente estos catálogos, es posible practicar la que comúnmente se llama «ciencia de archivo». Sus objetivos son múltiples e intentaremos ilustrar algunos de sus puntos más importantes.

En primer lugar, hoy ya estamos familiarizados con el concepto de que los cuerpos celestes emiten radiación en bandas de energía (ondas radio, rayos X, etcétera) diferentes de la óptica. Basta con comparar catálogos de fuentes detectadas en bandas diferentes para identificar con rapidez, según sus coordenadas, las posibles asociaciones. De este modo, por ejemplo, comparando las coordenadas de los púlsares disponibles en un catálogo con el de las fuentes X observadas por el satélite Rosat, puede verse que el púlsar del Cangrejo y otros veinte más coinciden con fuentes X. Evidentemente, el mismo tipo de comparación o, como se diría de una manera más técnica, de correlación, puede establecerse entre más de dos catálogos. La correlación entre ellos permite, por tanto, obtener una visión de conjunto de algunos cuerpos, lo cual es importante para tener una idea más precisa de su naturaleza.

Otra aplicación de la «ciencia de archivo» es la identificación de las fuentes de naturaleza desconocida. Por ejemplo, correlacionando la



posición de algunas fuentes X no identificadas con catálogos de objetos astrofísicos conocidos, es posible comprobar que algunas de aquéllas coinciden con estrellas o galaxias. En otros casos, comparar datos de archivo referentes a una determinada fuente (evidentemente, siempre que sean compatibles) puede servir para averiguar la variabilidad a largo plazo. Todavía más: utilizando exclusivamente datos de archivo es posible estudiar simultáneamente las características de una determinada población de objetos en ciertas longitudes de onda, por ejemplo las galaxias espirales de rayos X. Finalmente, de los datos de archivo pueden extraerse informaciones importantes, que anteriormente habían sido dejadas de lado por los autores de las observaciones originarias. Así, un astrónomo que sólo se ocupa de galaxias tiende a no prestar atención a todos los objetos de campo que carecen de interés para su investigación. En cambio, algunos de estos objetos pueden tener un interés enorme para algún colega, que podrá pedir los datos del archivo específico una vez que se hayan hecho públicos. Además, en algunos casos, puede ocurrir que incluso datos considerados prioritarios por el propio observador permanezcan ignorados por diversos motivos y que, terminado el período de prioridad, sean aprovechados por otro colega.

En la red no sólo es posible encontrar imágenes de los objetos astronómicos, sino también procesarlas para extraer de ellas todas las informaciones que se buscan.

LA CONSULTA Y LA ADQUISICIÓN REMOTA DE LOS DATOS

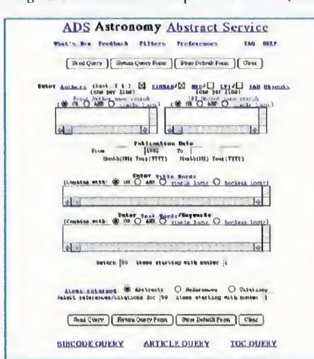
Así pues, la disponibilidad de los datos de archivo es extremadamente importante, como importante es poder acceder a ellos con facilidad y rapidez. Hasta hace poco tiempo, el acceso a los archivos representaba una operación bastante laboriosa. En primer lugar, los bancos de datos *(database)* están distribuidos en puntos geográficamente muy precisos, y en muchos casos, por cuestiones de acuerdos internacionales, no pueden duplicarse para satisfacer a otras instituciones o centros de investigación. En cualquier caso, se trata de millares de gigabytes que requerirían unas cantidades enormes de memoria para ser almacenados.

Por consiguiente, el primer paso consistió en conectar el propio ordenador vía red a otro ordenador lejano que gestionaba el acceso al archivo deseado. Así, los datos que se consideraban interesantes se seleccionaban y solicitaban electrónicamente. La petición era leída por el personal del archivo y registrada en una cinta magnética. Luego los datos se enviaban al solicitante por correo aéreo. Obviamente, este sistema implicaba un período de espera de varios días, cuando no semanas.

Pero este proceso sufrió una enorme aceleración con la evolución de las redes informáticas, que han hecho posible una mayor rapidez de conexión entre ordenadores locales y remotos. Ahora, los datos seleccionados en el archivo pueden ser copiados directamente por el solicitante a través de la red, en un proceso que tiene lugar casi en tiempo real. Además, muchos de los programas actuales de consulta permiten visualizar directamente en la pantalla del solicitante los datos solicitados al archivo remoto. Otra ventaja es que, como las peticiones viajan más rápidamente a lo largo de la red, es posible hacer su análisis a distancia utilizando el software cargado en el ordenador remoto. De este modo es posible darse cuenta en seguida de la calidad efectiva de los datos y de su utilidad científica para análisis más finos. El ahorro de tiempo es considerable. La mayor velocidad de la red permite también «dialogar» con los archivos a través de interfases gráficas creadas por el ordenador remoto o directamente por el ordenador local después de haber importado el software correspondiente.

EL UNIVERSO EN UN CLIC

La difusión de los programas de navegación por la red ha hecho que el acceso a los archivos diseminados por todo el mundo sea todavía más inmediato. Hoy, en la mayoría de los casos, los programas de consulta están integrados directamente en el puerto de acceso (*home*



Rellenando la correspondiente ficha, que aparece en una de las páginas electrónicas disponibles en la red (http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html), es posible hacer búsquedas bibliográficas por el nombre del autor, por palabras clave (por ejemplo, púlsar) o por nombres de objetos (por ejemplo, Sirio) contenidos en el título o en el sumario del artículo. Una vez identificado el artículo que se desea, con un clic se consigue recuperar el texto completo del artículo (figuras incluidas) en formato electrónico que, con otro clic, puede imprimirse directamente con la impresora local o transferirse al disco del ordenador del consultante.

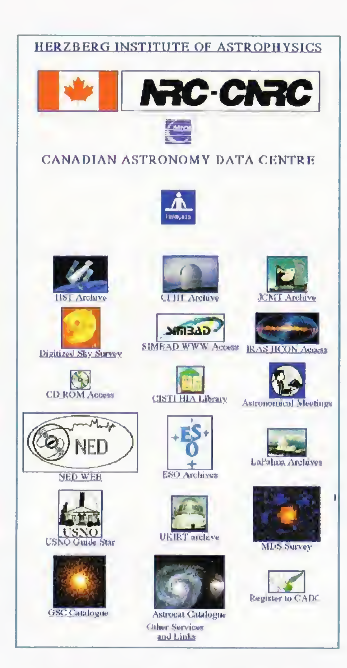
LA ASTRONOMÍA EN LA RED

Naturalmente, los programas de navegación permiten no sólo el acceso a las direcciones donde se conservan los archivos, sino también a todas las de interés astronómico general. Así, por ejemplo, es posible conectarse a un observatorio o a la página de entrada de una institución para trabar conocimiento con sus miembros o saber qué tipo de investigaciones científicas desarrollan o el modo de llegar a ellas. Algunas de las páginas más apreciadas y utilizadas por los astrónomos son aquellas en las que se archivan los trabajos científicos publicados, o próximos a publicarse, en las principales revistas especializadas.
La posibilidad de acceder a la bibliografía en tiempo real a través de la red permite, sin duda alguna, una difusión más rápida de los conocimientos científicos que la que ofrecen los medios tradicionales. Las revistas científicas se envian por correo ordinario a los centros de investigación que las piden y, por tanto, llegan a su destino con cierto retraso respecto a la fecha de publicación. A veces, conocer algún descubrimiento con dos semanas de anticipación puede significar una gran diferencia.
Visitando las páginas adecuadas, es posible tener acceso a servicios fundamentales para el astrónomo, como boletines meteorológicos, con imágenes tomadas por satélite, referentes al emplazamiento geográfico de un observatorio dado. Este servicio es absolutamente fundamental cuando han de hacerse observaciones remotas y, por tanto, no pueden conocerse las condiciones meteorológicas del observatorio. Algunas páginas ofrecen gratuitamente todos los paquetes de software necesarios para analizar cualquier tipo de datos, ya preparados para ser copiados e instalados en cualquier ordenador.



Página de entrada (http://www.astro.uva.nl/) del Instituto de Astronomía de la Universidad de Amsterdam.

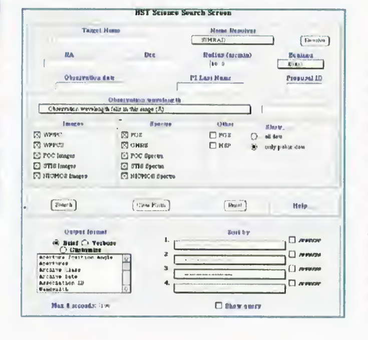
page, página de entrada) correspondiente a la dirección que contiene un determinado archivo, y pueden activarse con breves pulsaciones del ratón sobre determinados iconos o palabras clave. Por tanto, la visualización de los datos tiene lugar en las mismas



La página web del Canadian Astronomy Data Centre (http://cadcwww.dao.nrc.ca/) ofrece acceso a una amplia gama de catálogos ópticos, observaciones de archivo e informaciones generales de interés astronómico.

páginas sin sobrecargar el trabajo del ordenador creando nuevas ventanas de presentación.

Navegando por las redes informáticas es posible hojear buena parte de las observaciones recogidas en los 25 últimos años de escrutinio del firmamento, desde las ondas radio hasta los rayos gamma. Puede decirse, pues, que el universo, más que al alcance de la mano, está al alcance del dedo que pulsa el ratón.



A la izquierda, ejemplo de interfase para la consulta de datos de archivo a través de las páginas web. La selección de las observaciones puede hacerse basándose en las coordenadas, el nombre del objeto o el del observador, y todavía puede afinarse más incluyendo otras especificaciones sobre filtros, instrumentos, etc. (http://archive.stsci.edu/cgi-bin/hst_science_search).



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

SATÉLITES DE SATURNO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

PLANETARIOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

EL CAN MENOR

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA EMISIÓN ULTRAVIOLETA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL ÚNICO VIAJE A MERCURIO



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

58



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.: Brinock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

SATÉLITES DE SATURNO

Las lunas de Saturno poseen características que las diferencian entre sí. En un breve viaje por el sistema de Saturno encontraremos al pequeño Mimas, que presenta un cráter con un diámetro equivalente a un tercio del tamaño del satélite; a Japeto, que tiene un hemisferio 5 veces más luminoso que el otro, y a Tetis, con la superficie surcada por un cañón de 1.000 km de largo y 100 de ancho.



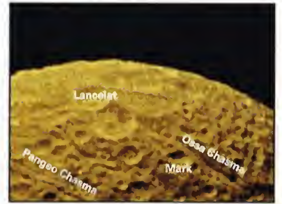
Saturno posee numerosos satélites que desde la Tierra pueden verse alineados cuando los anillos se presentan de perfil. El mayor de todos es Titán, descubierto por Huygens en 1665. En los últimos decenios del siglo XVII, Cassini descubrió cuatro: Japeto, Rhea, Tetis y Dione.

En 1789, por medio de telescopios mucho más potentes, Herschel identificó otros dos: Mimas y Encelado. Hiperión fue descubierto en 1848 simultáneamente por dos astrónomos de Cambridge (Estados Unidos). En el presente siglo, el análisis de fotografías ha permitido descubrir Febe.

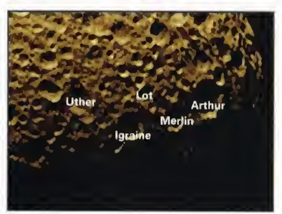
La observación de las lunas de Saturno requiere habilidad y paciencia; la presencia de los anillos, con su luminosidad, dificulta todavía más la tarea.

Antes de que las sondas Voyager llegaran al sistema de Saturno, las lunas observadas eran las nueve citadas, pero ahora conocemos unas dieciocho. Con los instrumentos terrestres, sólo Titán es visible como un pequeño disco; los demás satélites aparecen todos como puntitos luminosos.

Saturno, el segundo planeta en tamaño del sistema solar después de Júpiter, posee un sistema muy nutrido de satélites que presenta características muy interesantes.



Mimas es uno de los satélites más pequeños de Saturno, pese a lo cual tiene un cráter de 130 km.



Mimas es el satélite más pequeño descubierto en el pasado. Lo encontró sir William Herschel en 1789.



La superficie de Mimas, muy craterizada, sugiere que este satélite está muy evolucionado geológicamente.

Hoy, gracias a los datos ofrecidos por las sondas Voyager 1 y 2, estamos en condiciones de hacernos una idea global de cada uno de ellos.

ROTACIÓN Y REVOLUCIÓN

Las órbitas de los satélites más internos (Mimas, Encelado y Tetis) están relacionadas entre sí. Sus períodos de revolución están en resonancia; se han observado además algunos cuerpos pequeñísimos (del tamaño de los asteroides) que están en resonancia con el material que forma los anillos. Son los llamados satélites pastores, que con su presencia garantizan la estabilidad de las órbitas de los anillos.

Todos los satélites de Saturno, con excepción tal vez de los más externos, están en rotación síncrona, lo que significa que vuelven siempre la misma cara al planeta, exactamente como la Luna en relación con la Tierra. La causa de este comportamiento reside en la gran fuerza gravitacional de Saturno, que provoca enormes efectos de marea con la característica protuberancia. La fuerza gravitatoria que se ejerce entre la protuberancia y el planeta frena la rotación de las lunas hasta que la velocidad de rotación coincide con la de revolución.

Febe, demasiado pequeño y lejano para que puedan suceder los fenómenos anteriormente descritos, posee un período de rotación (9 horas) muy inferior al de revolución (1,5 años terrestres). Casi todos los satélites de Saturno poseen órbitas circulares situadas en el plano ecuatorial del planeta. Sólo Japeto y Febe están inclinados, 14,7 y 150°, respectivamente. Febe se mueve alrededor de Saturno en sentido contrario al de todos los demás.

Los satélites de Júpiter, Saturno y Urano orbitan en el plano ecuatorial del planeta. Probablemente no es casual que estos grandes planetas tengan anillos. Una hipótesis es que los satélites se forman como subproducto durante la fase de acreción del gigante gaseoso. De ser así, las lunas podrían nacer del gas, el hielo y el polvo presentes alrededor del gigante en formación siguiendo las mismas reglas que dieron origen a los planetas del sistema solar.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS

Las dimensiones de los satélites de Saturno son muy variables: unos son tan pequeños como asteroides y otros tan grandes como Mercurio. En general, su densidad es inferior a 1,5 g/cm^3, lo cual significa que muy probablemente constan básicamente de hielo. Un modelo razonable podría ser el que subdivide los constituyentes de estos cuerpos en un 30-40% de roca y un 60-70% de hielo. Sólo Titán es lo bastante masivo para que la proporción de roca y hielo sea equivalente.

Las informaciones dadas por las sondas sugieren que al alejarse los planetas y los satélites del Sol, su densidad disminuye. La causa podría ser el calor desprendido por el Sol. En conjunto, los satélites de Saturno tienen una densidad menor que la de Júpiter y por tanto un porcentaje de hielo más alto. Cuando se formó Saturno, la mayoría de las rocas fueron capturadas por el planeta naciente.



La superficie de Encelado (a la izquierda), helada, es extremadamente luminosa. Su interior, en cambio, es caliente y fluido.



A la derecha, otra imagen de Encelado, cuya superficie es más bien lisa. Pudiera ser que este satélite abasteciera de hielo al anillo E de Saturno. De su interior sale material fluido que tiende a borrar las huellas de los cráteres.



Japeto, satélite de Saturno, presenta un hemisferio cinco veces más luminoso que el otro. En el lado oscuro podría caer material procedente de Febe.

COMO ESPEJOS

Las imágenes que nos han llegado del sistema de Saturno llevan a pensar que existe hielo en la superficie de sus lunas, un supuesto confirmado por el análisis en el infrarrojo. Además, estos cuerpos tienen un albedo altísimo, ya que se cree que reflejan hasta el 90% de la luz incidente. Encelado tiene un coeficiente de reflexión del 100%. A esta distancia del Sol, la temperatura no es suficiente para sublimar el hielo, que puede permanecer tal cual sin evaporarse.

La presencia de hielo en un satélite reduce su punto de fusión y, gracias al consiguiente aumento de temperatura, facilita la actividad geológica. Muchos satélites de Saturno presentan señales de evolución geológica.

MIMAS Y ENCELADO

Mimas y Encelado son los satélites más pequeños descubiertos históricamente: su masa equivale a la milésima parte de la de nuestra Luna, aproximadamente. Hasta la exploración de estos satélites se creía que sólo los cuerpos grandes podían fundirse a causa del calor interno provocado por la emisión radiactiva. Esta hipótesis recibe confirmación de la ausencia de actividad volcánica en la Luna. Desde esta óptica, Mimas y Encelado son demasiado pequeños para evolucionar geológicamente. Confirman todo esto las imágenes de Mimas, que muestran una superficie completamente cubierta de cráteres. Uno de ellos tiene un diámetro de 130 km, un tercio del diámetro del satélite. En el curso del bombardeo que siguió a la formación de Mimas, probablemente se crearon cráteres todavía mayores. El que no sean visibles puede explicarse suponiendo que Mimas se desintegró a causa del choque con un gran meteorito y luego los fragmentos se volvieron a unir para formar la luna. El cuerpo que provocó el cráter de 130 km de diámetro no tuvo la energía suficiente para destruir el satélite.

Las fotografías de Encelado nos muestran una superficie muy luminosa y desprovista de cráteres y hacen pensar que el suelo está cubierto de hielo reciente. Probablemente es esta luna la que suministra hielo al anillo E de Saturno. El interior de Encelado debería ser caliente y estar en movimiento, con material fluido que fluye hacia el exterior manteniendo luminosa la superficie y borrando las huellas de cráteres. El calor interno podría proceder del mismo mecanismo que provoca una fortísima actividad volcánica en el satélite de Júpiter Ío. Ambos comparten una oscilación continua a lo largo de la órbita producida por el campo gravitatorio de los dos planetas gigantes. En la superficie de Encelado hay llanuras con una serie de relieves que se cruzan. Es probable que Encelado todavía esté geológicamente activo. Además de estas llanuras se distinguen otros cinco tipos de terreno. En dos de ellos están presentes cráteres colapsados en distintas épocas, mientras que los otros tres están cortados por fallas más recientes.

De todos modos, la presencia de crestas se puede explicar de dos maneras. Tal vez las fallas fueron invadidas por agua líquida que luego se heló; también es posible que exista una zona de convección que haga subir material al centro de las llanuras y hunda el resto, produciendo plegamientos.

Rhea, similar a Dione en muchos aspectos, presenta dos caras muy distintas y una peculiaridad: debido a su menor gravedad, sus cráteres no están rodeados de anillos de material expulsado.





Rhea está situado a 500.000 km de Saturno, alrededor del cual orbita en 4,5 días.



Japeto tiene un diámetro de unos 1.500 km y una densidad similar a la del hielo.

JAPETO Y FEBE

Japeto posee un diámetro de 1.500 km y una densidad similar a la del hielo. El hemisferio que mira hacia Saturno es cinco veces más luminoso que el otro, una diferencia que ya fue observada por Cassini a fines del siglo XVII. Es probable que sobre el hemisferio más oscuro caiga material poco reflector. Una de las hipótesis propuestas es la de que este polvo podría llegar de Febe. Febe tiene un albedo

La superficie de Rhea, extremadamente craterizada, recuerda un poco la del planeta Mercurio.





Dione es más denso que los demás satélites de Saturno. Sus dos hemisferios son muy diferentes: por una parte, llanuras con pequeños cráteres; por otra, restos del intenso bombardeo al que estuvo sometido el astro poco después de su formación.

bajísimo y, cuando caen meteoritos microscópicos sobre su superficie, se levanta una cierta cantidad de polvo oscuro y se pierde por el espacio. Este material podría ser capturado por la gravedad de Japeto y al depositarse reduciría notablemente la reflectividad del satélite. Las características de Febe hacen pensar que en realidad este cuerpo no es más que un asteroide capturado por Saturno. Otra hipótesis para explicar la diferencia de luminosidad de Japeto se basa en un anillo de material oscuro encontrado en la estrecha franja que separa los dos hemisferios. Este anillo podría haberse formado cuando un fluido procedente

Tetis presenta una de las estructuras más sorprendentes del sistema solar: un gigantesco cañón que se extiende de una región polar a la otra. Su tamaño es extraordinario: 1.000 km de longitud y 100 de anchura.





Los cráteres más pequeños de Dione sugieren el impacto de fragmentos en épocas posteriores a la formación del sistema de satélites de Saturno.

del interior penetró en los cráteres de impacto, oscureciendo la mitad de la superficie. Dicho material pudo ser una mezcla de amoniaco, hielo y alguna sustancia oscura.

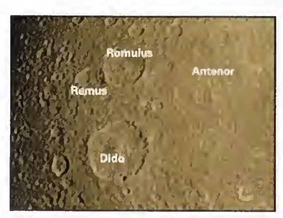
RHEA

Las imágenes muestran una superficie cubierta por muchísimos cráteres, uno de los cuales es tan grande que ya resultó visible durante la aproximación a la Luna, cuando las sondas estaban todavía lejos. El suelo es similar a los altiplanos craterizados de la Luna y Mercurio, con la diferencia de que los cráteres más jóvenes de Rhea no están rodeados de anillos de material expulsado. Ello es debido a la menor gravedad de la luna de Saturno: los materiales emitidos durante el choque se esparcen por la mayor parte de la superficie del satélite y no se detienen en las cercanías como en nuestra Luna.

El suelo puede dividirse en dos caracterizaciones morfológicas distintas. La parte más occidental de la región polar muestra cráteres de diámetros comprendidos entre 30 y 100 km y una

El interior de Tetis, probablemente helado, está recubierto de una corteza sembrada de cráteres.





Arriba, algunos grandes cráteres de Dione, testigos del intenso bombardeo meteorítico sufrido por el satélite.



Arriba, una de las características estrías luminosas (la Carthage Linea) de la superficie de Dione.

numerosa población de cráteres más pequeños. En la parte más oriental, en cambio, faltan los de gran tamaño y existen depresiones asociables a un relleno de los cráteres mayores. La explicación puede ser la siguiente: tras un período de intensa craterización inicial (causa de los cráteres de tamaño mayor), parte de la superficie de Rhea fue remodelada por la salida de un líquido fangoso empujado hacia la superficie por la presión de los gases de su interior.

DIONE

Dione, con un diámetro de 1.100 km, posee la mayor densidad entre los satélites de Saturno con excepción de Titán. También esta luna presenta una diferencia entre las

Además de cráteres, la superficie de Tetis presenta amplias llanuras de formación posterior a la del satélite.



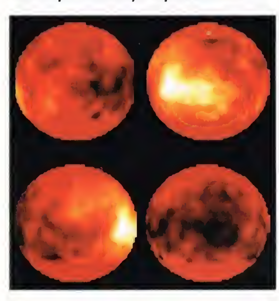


A la izquierda, Titán, que con sus 2.500 km de diámetro es uno de los mayores satélites del sistema solar.

A la derecha, otra imagen de Titán, que tiene una atmósfera densa y es una de las lunas más interesantes del sistema solar.

dos caras. En una hay muchas estrías luminosas que atraviesan cráteres de 50-100 km; en la otra, la luminosidad es uniforme. También en Dione hay llanuras en las que el número de cráteres es claramente menor. En el caso de Dione, y también en el de Rhea, la presencia de los cráteres más pequeños puede explicarse como resultado del choque con fragmentos todavía orbitantes en el sistema de Saturno poco después de que se formaran todas las lunas. Los primeros tiempos de la vida de este satélite estuvieron influidos por los choques con cuerpos de gran tamaño. Más tarde, algunas zonas sufrieron una remodelación; a aquella época se remontan las estrías, que no son otra cosa que fracturas llenadas por material procedente del interior.

Abajo, cuatro imágenes del satélite Titán tomadas por el telescopio espacial Hubble.





TETIS

Tetis tiene una órbita sólo superada por la de Dione; su diámetro es similar y su densidad menor. La estructura más imponente observada es un gigantesco cañón con muchas ramificaciones que se extiende de una región polar a la otra cortando toda la cara. Su tamaño es muy notable, pues su longitud se estima en 1.000 km, su anchura en 100 y su profundidad en varios kilómetros. Es probable que en la época de su formación Tetis no fuera del todo sólido; de lo contrario los choques que produjeron los grandes cráteres lo habrían fragmentado. Más tarde el satélite se heló, con el consiguiente aumento de volumen. Es posible que el cañón sea producto del estiramiento de la corteza de Tetis sobre un interior helado. También en esta luna algunas regiones sufrieron remodelaciones ulteriores; además de un terreno lleno de cráteres hay también llanuras, que han recubierto cráteres preexistentes de gran tamaño.



TITÁN

Titán, con su diámetro de 5.000 km, es el mayor de los satélites de Saturno. Sabemos muy poco acerca de su superficie porque es el único cuerpo dotado de una densa atmósfera (casi el 50% de la terrestre). Los análisis efectuados por las naves espaciales Voyager han demostrado que su atmósfera está compuesta casi exclusivamente de nitrógeno, con la presencia de metano. Las condiciones halladas no excluyen la probabilidad de presencia de algunas moléculas orgánicas. Esta misteriosa y fascinante luna de Saturno ha sido objeto de muchos estudios y observaciones.

Abajo, otra imagen de Titán. Este satélite tiene un período orbital de unos 16 días y está situado a aproximadamente 1,2 millones de kilómetros de Saturno.



Abajo, dibujo realizado en los años treinta de Saturno y alguno de sus satélites.



PLANETARIOS

Un cielo artificial pero tan realista que parece verdadero; esto es lo que reproducen los planetarios, unas máquinas extraordinarias, capaces de recrear el cielo en una estancia hemisférica. Los planetarios son unos instrumentos muy sofisticados y su coste, hay que decirlo, ¡es astronómico!



En nuestros días hemos perdido la costumbre de observar el cielo. Sucede esto no sólo por nuestra pereza y escasa paciencia ante unas observaciones que parecen una pérdida de tiempo, sino también porque las luces artificiales nos impiden disponer de un cielo suficientemente oscuro. Si vivimos en una ciudad, sólo podremos distinguir, en el mejor de los casos, unas pocas decenas de estrellas; las demás se perderán en la luz difusa producida por el alumbrado de las casas y las calles. En tales condiciones, un planetario puede ayudarnos a reaproximarnos al cielo, si bien ningún instrumento artificial puede sustituir el espectáculo impagable de una noche estrellada.

Un planetario no sólo sirve para contemplar el cielo estrellado cuando lo impiden las condiciones urbanas o meteorológicas. Es, sobre todo, un potente instrumento didáctico que permite visualizar los principales fenómenos celestes de un modo absolutamente realista, favoreciendo una mejor comprensión de los mismos. La astronomía, no hay que olvidarlo, es la ciencia observacional por excelencia; limitarse a estudiarla en los libros la priva de la mayor parte de su fascinación.



Arriba, imagen del planetario de Brno, en la República Checa. Como sucede en muchos paises, este planetario está asociado a un pequeño observatorio. La máquina de la fotografía puede guardarse bajo tierra cuando no se utiliza, lo que permite una mayor visibilidad a los espectadores en caso de conferencias.

UNA EXIGENCIA ANTIGUA

El deseo de representar la bóveda celeste tiene orígenes muy antiguos, como también el intento de reproducir los movimientos y fenómenos que se producen en ella: el movimiento del Sol en el cielo diurno, el movimiento de toda la bóveda celeste en el cielo nocturno, las fases de la Luna y la diversa altura del Sol sobre el horizonte a mediodía en los distintos días del año. Para reproducir la bóveda celeste se pueden adoptar dos puntos de vista diferentes. Se puede suponer que el observador es exterior y construir una especie de mapamundi

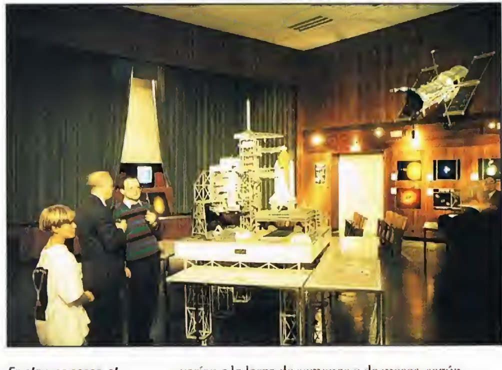


El planetario de Viena (a la izquierda) se encuentra junto al Prater, uno de los más famosos parques de atracciones de Europa. Desarrolla una actividad muy intensa y está asociado a un pequeño observatorio público situado en el centro de la ciudad.

en el cual, en vez de océanos y continentes, estén dibujadas las constelaciones. En este caso, más bien artificial, hay que tener presente que las figuras de las constelaciones se representan con la derecha y la izquierda invertidas respecto a lo que observamos en el cielo, en el cual nosotros estamos en el centro (en el interior) de la llamada «esfera celeste». La otra posibilidad, más realista, consiste en imaginar que el observador está efectivamente en el interior, y es la que se utiliza en los modernos planetarios.

Para los antiguos, sin embargo, era más fácil representar el cielo sobre un globo, adoptando, por tanto, una perspectiva exterior. Entre las primeras tentativas de representar el cielo sobre un globo figura la de Arato, el poeta griego autor de los *Fenómenos*. Aunque el globo se perdió, en la obra, basada en las concepciones astronómicas de Eudoxo, subsisten ilustraciones detalladas de él. El globo más antiguo que ha llegado hasta nosotros es probablemente el globo de mármol del Atlas Farnesio; éste sostiene una esfera en la cual, en vez de continentes, están representadas las constelaciones. Los globos de madera, en cambio, se han perdido. Además de la pérdida artística, el hecho supone una desgracia para los astrónomos, que a través de ellos habrían podido reconstruir la precesión de los equinoccios.

Parece que en el siglo II d.C. Tolomeo realizó un globo muy refinado, hoy perdido, que además de poder girar en torno al eje de rotación terrestre y a un eje horizontal orientado de este a oeste, también podía hacerlo alrededor de los polos eclípticos, mostrando así el fenómeno de la precesión de los equinoccios, descubierto por Hiparco hacia el 130 a.C.



En algunos casos, el planetario se convierte en un auténtico recorrido didáctico a través de salas de exposiciones y colecciones de fotografías. Arriba se ve una sala del planetario de Viena en la que se distinguen un modelo del transbordador estadounidense y otro del telescopio espacial Hubble.

PLANETARIUM Y STELLARIUM

Todos los globos descritos hasta ahora representan el concepto de *stellarium* más que el de *planetarium*. El primero indica un objeto o un instrumento que sólo reproduce el aspecto del cielo, con las estrellas y las constelaciones principales; no figuran en él, en cambio, los planetas, cuyas posiciones varían a lo largo de semanas o de meses, según los casos.

En 1584, Tycho Brahe construyó un *stellarium* de 1,8 m de diámetro, de madera recubierta de bronce. Mucho más refinado y complejo era el globo de Gottorp, construido por Andreas Busch. Se trataba de una esfera de 4 m de diámetro sobre cuya superficie exterior se habían representado los océanos y los continentes terrestres; en la superficie interna (la esfera era hueca) se reproducía el cielo estrellado. En el globo podían entrar unas diez personas y giraba en 24 horas movido por un dispositivo hidráulico alrededor de un eje inclinado 54,5 grados. El globo fue realizado en 1713 para el duque Federico de Holstein y más tarde regalado al zar Pedro el Grande de Rusia, quien lo instaló en San Petersburgo pese a que esta ciudad se encontraba 5 grados más al norte que la latitud correspondiente a la inclinación del eje de rotación del instrumento.

A principios del siglo XX, entre 1912 y 1913, se realizó en Estados Unidos un objeto similar: el globo celeste de Atwood, instalado en el Museo de la Academia de Ciencias de Chicago, que fue prácticamente el último planetario construido antes del nacimiento de los planetarios modernos.

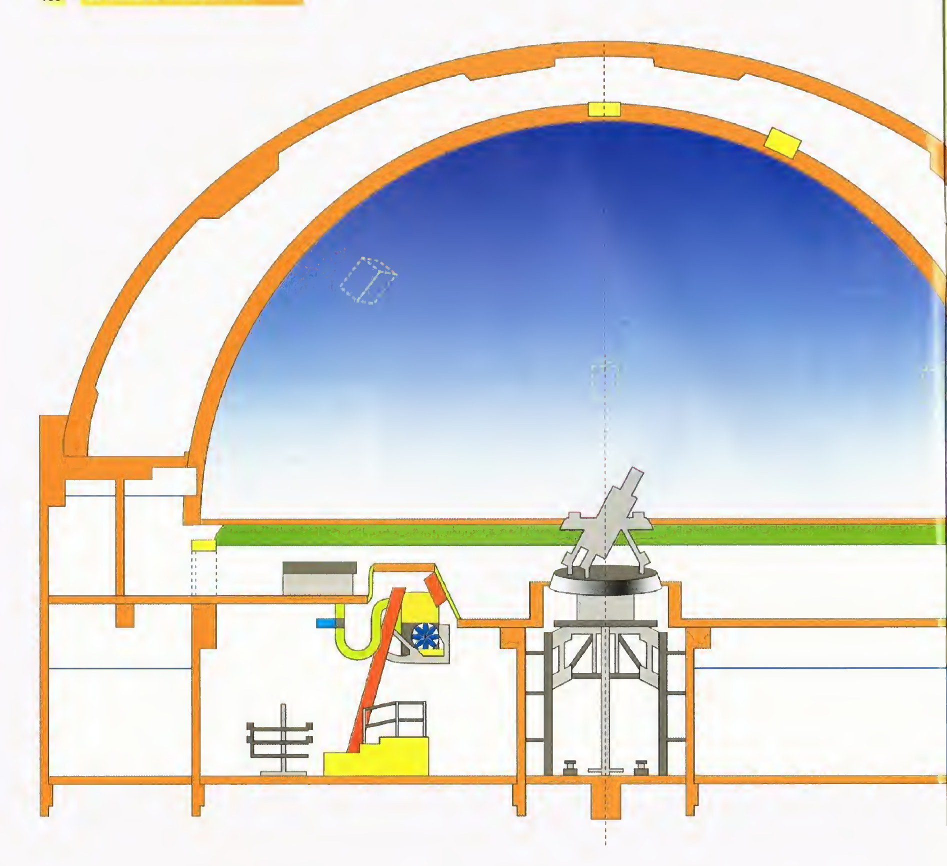
LOS PLANETARIOS MODERNOS

Entre 1923 y 1924 se construyó en Alemania el primer ejemplar de la estirpe de los planetarios modernos. Lo diseñó el ingeniero alemán Walter Bauersfeld, director en aquel entonces de la empresa alemana Zeiss en Jena, y fue instalado en una terraza del edificio de dicha empresa. Se trataba de una compleja máquina opticomecánica situada en el centro geométrico de una sala de forma semiesférica.

El principio en el que se basaba era el de la proyección. La máquina, giratoria, permitía no sólo



A la izquierda, interior del planetario de Budapest. La disposición de los asientos no es simétrica, sino que tiene una dirección preferente de observación. En este planetario también se dan conciertos y espectáculos con rayos láser.



reproducir el aspecto del cielo estrellado, sino también simular sus movimientos. La sala, obviamente, debía estar a oscuras; la cúpula, fija, pintada de blanco, era como una pantalla de proyección. Ulteriores perfeccionamientos permitieron añadir los planetas y a partir de entonces Zeiss construyó varias series de planetarios cada vez más sofisticados y precisos. Muy pronto, los planetarios se extendieron por todo el mundo. Entre los primeros figuran los construidos en Roma (1928) y en Milán (1930).

CÓMO FUNCIONA UN PLANETARIO

Como se ha dicho, el principio en que se basa el funcionamiento de un planetario es el de la proyección. En su interior hay una fuente de luz muy intensa (unos 500 watios), casi totalmente encerrada dentro de una caja en cuyas paredes se han abierto pequeños orificios circulares. La luz debe salir a través de ellos formando unos delgados haces que, una vez enfocados por un sistema de lentes, inciden sobre la cúpula de proyección y forman las imágenes de la mayor parte de las estrellas de fondo del cielo. Hay también algunas decenas de proyectores auxiliares que, por medio de pequeñas lámparas, crean la imagen de estrellas más luminosas con sus colores propios. El Sol, la Luna y los planetas dependen de unos pequeños proyectores independientes, que colocan los astros errantes en las posiciones reales correspondientes a la fecha que figura en el

Los planetarios modernos ofrecen la posibilidad de escoger entre una sala plana, de tipo tradicional, o inclinada, como en un cine o en un aula universitaria. Esta última solución aumenta la comodidad del espectador pero comporta una dirección preferente de observación.

PARA OBSERVAR EL CIELO

El planetario permite observar el cielo a las personas que han perdido la costumbre de hacerlo, como las que viven en una gran ciudad. Esto no significa que debamos contentarnos con un sucedáneo del cielo: un planetario puede ser también un modo de acercarnos a la astronomía y a sus fenómenos.

LOS PLANETARIOS PORTÁTILES

El planetario es un formidable instrumento didáctico. Pero construir un planetario fijo puede ser demasiado oneroso para una escuela o un pequeño círculo de aficionados a la astronomía. En tal caso es posible adquirir un planetario portátil. Se trata de un instrumento sofisticado pero abordable, de precio comprendido entre 1 y 3 millones de pesetas. El problema principal es el de la cúpula, que debe ser transportable. Hay dos soluciones técnicas al problema: la primera es la de la cúpula en forma de paraguas, formada por una tela montada sobre varillas metálicas, que puede abrirse y cerrarse como un paraguas. Se utiliza en un modelo de planetario construido en Japón. La segunda es la de la cúpula hinchable, construida por una empresa estadounidense. En este original planetario, el instrumento se encuentra dentro de un globo, que se puede hinchar con un compresor y al que entran los espectadores. En ambos casos, el diámetro de la cúpula es de unos tres metros y el aforo máximo de unas 25 personas.

planetario. Estos proyectores están conectados al resto de la máquina de tal modo que giran con ella y muestran el desplazamiento de los cuerpos con el paso del tiempo. También hay unos motores que permiten a la máquina girar alrededor de distintos ejes. De este modo, el planetario puede simular el movimiento horario de la esfera celeste y el movimiento anual aparente del Sol por las constelaciones. También es posible reproducir lo que sucede cuando el hipotético observador celeste cambia de latitud y se traslada hacia el ecuador o hacia un polo. Girando alrededor de otro eje, por último, el planetario permite comprobar el fenómeno de la precesión de los equinoccios, haciendo que transcurran milenios en pocos instantes.

Con otros proyectores auxiliares se pueden mostrar los meridianos y paralelos celestes, la eclíptica y otras referencias astronómicas. Es posible utilizar ciertos efectos especiales para reproducir fenómenos como las estrellas fugaces, las variables y los eclipses.

Como se ha dicho, en un planetario se realiza una proyección sobre una cúpula. Ésta suele tener una forma semiesférica y estar construida con paneles de aluminio barnizados de blanco en los que, para absorber el sonido y evitar el fastidioso fenómeno del eco, se han abierto gran cantidad de pequeños orificios. El diámetro de la cúpula varía de un planetario a otro: los mayores tienen cúpulas de unos 20 m de diámetro y pueden albergar del orden de 300 espectadores. Pero hay también planetarios más pequeños, de unos 15 o 16 m, y la tendencia actual consiste en construir cúpulas de este tamaño porque presentan menos problemas de proyección y costes netamente inferiores. También hay



Fachada de entrada del planetario de Milán. El instrumento actualmente en uso es un Zeiss modelo IV, instalado en 1968. El diámetro de la cúpula de proyección es de 19,6 m.

La consola de control de un planetario moderno (en la imagen de arriba, la del planetario de Viena) parece el cuadro de mandos de un avión. En ella se combina el control de la máquina principal con el control audio, el control de los proyectores auxiliares y el de los varios proyectores de vídeo y de diapositivas.

planetarios de 8-10 m e incluso de 3-4 m, que son los más pequeños.

UTILIDAD DE UN PLANETARIO

Los planetarios modernos permiten no sólo reproducir fielmente el aspecto del cielo estrellado, sino también simular con precisión los movimientos que se producen. Éste es tal vez el aspecto más interesante desde el punto de vista didáctico, pues así se comprenden mejor fenómenos tales como el movimiento horario de la bóveda celeste, los cambios que se producen con el paso de los meses y las fases de la Luna. Con un planetario se puede hacer correr el tiempo de modo arbitrario, por ejemplo frenándolo para concentrarse en las constelaciones presentes al comienzo de una determinada noche o acelerándolo, haciendo que transcurra una noche entera en pocos minutos. Muchos planetarios pequeños están instalados en institutos náuticos y aeronáuticos, donde todavía hoy, pese a la creciente utilización de satélites, se enseña la orientación basada en los astros. También los astronautas, antes de ponerse en órbita, se adiestran en un planetario; incluso los exploradores que parten hacia zonas remotas del globo terrestre usan este instrumento para aprender a reconocer el cielo de regiones lejanas.

Hoy en día, los planetarios suelen complementarse con otros sistemas de proyección auxiliares, como el cine IMAX, que permite la



En un planetario se puede utilizar una flechita luminosa (abajo) para señalar a los espectadores estrellas y otros cuerpos celestes. Ni que decir tiene que esta posibilidad no existe en el cielo real...

LOS PRINCIPALES PLANETARIOS ESPAÑOLES

Planetario de Madrid
http://www.planetmad.es/intro.htm

Planetario del Museo de la Ciencia de Barcelona
http://www.fundacio.lacaixa.es/cas/equips/museu.htm

Planetario del Parque de las Ciencias de Granada
http://www.parquedelasciencias.com/planet.html

Planetario de Pamplona
http://www.ucm.es/OTROS/Astrof/pamplona/pp-casa.html

Planetario de Castellón
http://www.cac.es/



El planetario de Amsterdam, cuya fachada se ve en la fotografía de arriba, está en un parque que alberga también un zoológico y un museo geológico.

proyección de películas en la cúpula, haciendo que el espectador se sienta inmerso en un paisaje marciano o venusiano. Otros planetarios han elegido el camino del *Laserium*, un complicado sistema de rayos láser coloreados que danzan en la cúpula y dibujan figuras. Todas estas opciones van en la dirección de los multimedia, esto es, de la concepción del espectáculo como una combinación de imágenes, sonidos, juegos de luz, etc.

PLANETARIOS DE NUEVA GENERACIÓN

Pero la tecnología de los planetarios no se detiene. Zeiss ha desarrollado un sistema de proyección que utiliza fibras ópticas, con las que se pueden conseguir estrellas puntiformes y un cielo mucho más parecido al verdadero. También otras empresas han entrado en el mercado, sobre todo japonesas y estadounidenses, y han creado planetarios digitales que generan una imagen del cielo y la envían a proyectores de vídeo. Naturalmente, de unos años a esta parte todos los planetarios, independientemente de la tecnología de proyección utilizada, están completamente informatizados, gestionados por ordenadores que hacen posible la realización de espectáculos automáticos. Esto tiene sus ventajas, como la posibilidad de que los espectáculos sean continuos, pero también sus inconvenientes, como la supresión de la relación con una persona, generalmente un astrónomo, que maneja la máquina y desarrolla el tema en directo ante el público.

En los próximos años, este tipo de entretenimiento culto (para el cual los anglosajones han acuñado el término de *infotainment*, que deriva de *information*, información, y *entertainment*, diversión) llegará a ser habitual y participarán en él millones de espectadores. La única razón que todavía frena la difusión masiva de los planetarios es su coste: sólo el proyector cuesta cientos de millones de pesetas.

Abajo, exterior del planetario de Budapest. En los países del Este, pese a los problemas económicos y políticos, la didáctica de la astronomía está muy avanzada y la tecnología de los planetarios es de un nivel notable.





Para los más pequeños, los planetarios ofrecen espectáculos adecuados, con historietas y dibujos animados, pero de contenido científico riguroso. En la imagen se ve un espectáculo de esta clase en el planetario de Amsterdam.

EL CAN MENOR

Conocida desde la Antigüedad, la constelación del Can Menor, o Perro Menor, representa uno de los dos perros que acompañaban al gigante Orión en sus batidas de caza.



La brillante Procyon resplandece en las noches invernales no lejos de Sirio y de las estrellas de Orión. Pero, dejando aparte este astro brillante, no hay muchas estrellas luminosas en la constelación del Can Menor.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Esta pequeña constelación se localiza fácilmente en el cielo mirando al sur de la más imponente de Géminis.

La estrella más brillante, la ya citada Procyon, se encuentra 25° al sur de Castor. También se puede partir del grupito de estrellas que identifica la cabeza de la Hidra celeste y desplazarse unos quince grados a occidente, o mirar 30° al este de Betelgeuse, uno de los hombros de Orión.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL CAN MENOR

Además de representar uno de los perros de caza de Orión, la constelación del Can Menor nos recuerda también la leyenda de Icario, el hombre a quien Dioniso reveló el secreto de la vinificación. Icario dio de beber a unos pastores, a los que les gustó tanto el vino que se emborracharon y, creyendo haber sido envenenados por Icario, lo mataron. El fiel perro de Icario corrió a avisar a la hija de éste y la llevó hasta donde se encontraba el cadáver de su padre. Presa de la desesperación, la hija se dio muerte y otro tanto hizo el perro. La piedad de los dioses puso al perro en el cielo en forma de constelación y también Icario fue elevado hasta la bóveda celeste, en la constelación del Boyero.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Como ya se ha dicho, el astro más luminoso es Procyon, identificado también con la letra alfa de acuerdo con la convención introducida por Bayer; la magnitud de esta estrella es de 0,4. Este dato la coloca en el octavo puesto de la clasificación de las estrellas más luminosas de la bóveda celeste. Contrariamente a cuanto pueda parecer a primera vista, el nombre de esta estrella no tiene nada que ver con el animal homónimo de cola atigrada; Procyon viene del griego y significa «el que precede al perro». Esta constelación surge antes que el vecino y luminoso Can Mayor. Curiosamente, Procyon, como Sirio, posee una pequeña compañera de características similares; también en este caso se trata de una enana blanca, de magnitud 10,8.



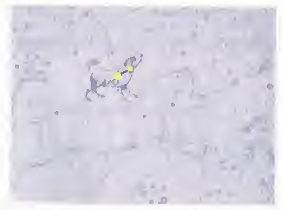
La estrella Procyon es la más brillante de la constelación del Can Menor; como la vecina Sirio del Can Mayor, está acompañada de una enana blanca cuya observación es difícil a causa de la proximidad entre los dos astros y de la notable diferencia de luminosidad entre ambos.

La existencia de este astro, análogamente a lo que sucede con Sirio, se dedujo del movimiento de Procyon mucho antes de que se realizara el descubrimiento con un telescopio. Dicho movimiento mostraba que la estrella sufría la acción de una compañera invisible, de masa igual a tres quintas partes de la solar, que orbitaba a su alrededor en unos 40 años. Fue observada en 1896, mientras que la predicción de su existencia se produjo en 1861. La separación, pese a variar entre 2 y 5", no facilita tanto la observación como se podría pensar a primera vista. La diferencia de magnitud entre las dos estrellas hace que sea muy difícil captar el débil brillo de Procyon B, como se llama a la enana blanca.

A Procyon le sigue en orden de luminosidad beta, llamada también Gomeisa, una estrella de luz blancoazulada que oscila entre las magnitudes 2,8 y 2,9.

Además de estas dos estrellas, vale la pena mencionar otra, variable como Gomeisa pero de características distintas. Se trata de S, que en 333 días pasa de una magnitud de 6,6 a otra de 13,2; resulta siempre imperceptible a simple vista pero observable con unos prismáticos en el momento de su máximo esplendor.

La constelación del Can Menor no contiene objetos de especial interés observables con telescopios de aficionado.

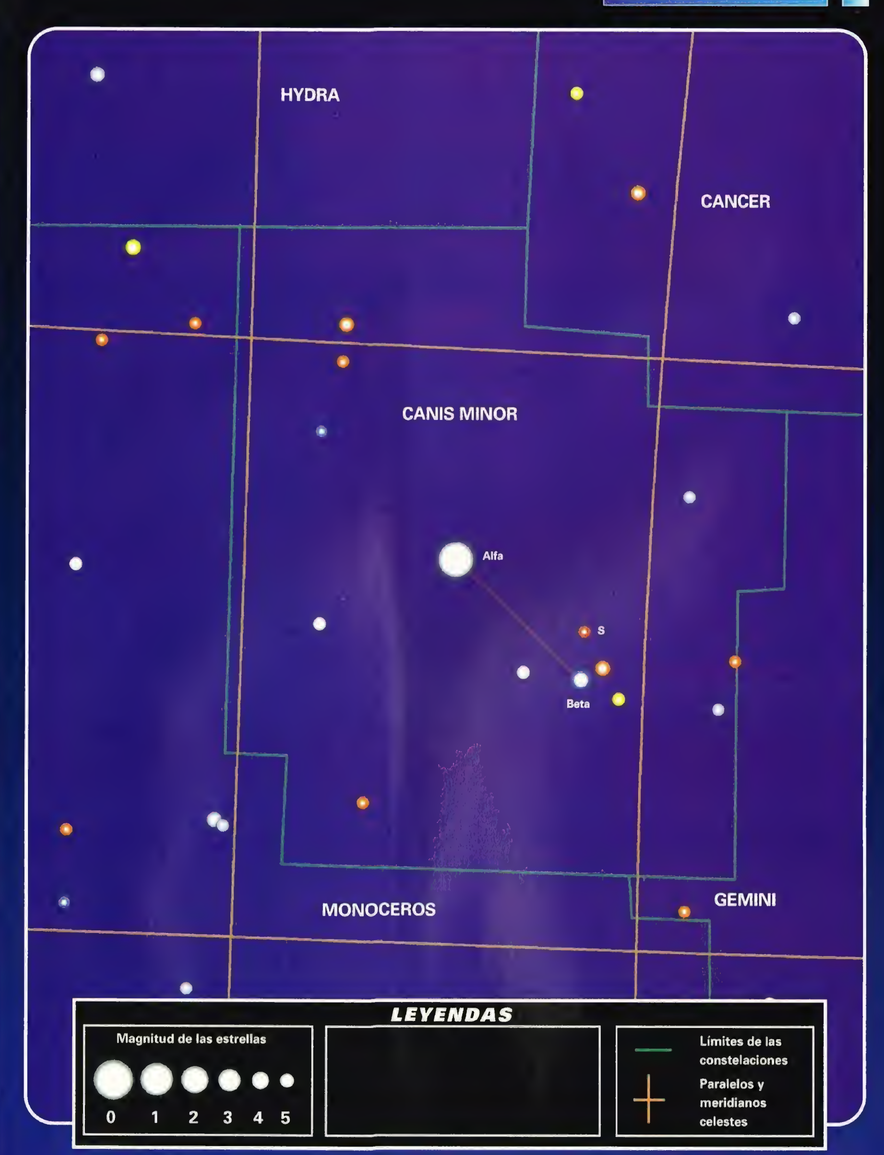


Con el vecino Can Mayor, el Can Menor acompañaba al cazador Orión en sus correrías. En ellas Orión causaba estragos entre todo tipo de animales.

DÓNDE BUSCARLA

EL CAN MENOR

El paso de Procyon en oposición al Sol se produce hacia el 20 de enero. Este período es el más favorable para la observación de la constelación del Can Menor. Esta pequeña constelación abarca una región del cielo comprendida entre las 7 horas 5 minutos y las 8 horas 10 minutos de ascensión recta, y entre 0 y 13° de declinación.


HYDRA
CANCER
CANIS MINOR
Alfa
S
Beta
MONOCEROS
GEMINI
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA EMISIÓN ULTRAVIOLETA

Captar la emisión ultravioleta es fundamental para el estudio de los objetos celestes, desde las estrellas masivas hasta las atmósferas planetarias, desde el medio interestelar hasta los núcleos galácticos activos.



La radiación que recibimos de los cuerpos celestes que pueblan el universo contiene distintas energías y longitudes de onda; cuanto más energética es una radiación, más corta es su longitud de onda. Los fenómenos de mayor energía en el universo producen rayos gamma y X, mientras que los menos energéticos dan origen a radioondas. Toda información procedente del espacio nos llega en forma de radiación electromagnética y la longitud de onda de la radiación que detectamos en la Tierra o a través de satélites es un indicio de un fenómeno físico concreto. Por esta razón, mirar el universo en diferentes bandas del espectro electromagnético no es como observar el mismo fenómeno con distintos filtros, sino como contemplar fenómenos realmente distintos y comprender los procesos físicos que regulan la producción de energía a determinadas longitudes de onda.

OBSERVACIÓN DESDE LA TIERRA

Desde la Tierra, sin embargo, no podemos observar el universo a todas las longitudes de onda indistintamente. La atmósfera terrestre sólo nos permite observar en algunas «ventanas», la ventana visible y la de las radioondas, con el añadido de algunas estrechas regiones que se extienden en el intervalo del infrarrojo. Para captar energía de otro tipo es necesario llevar nuestros detectores fuera de la atmósfera a bordo de satélites astronómicos.

LOS SATÉLITES DE ASTRONOMÍA UV

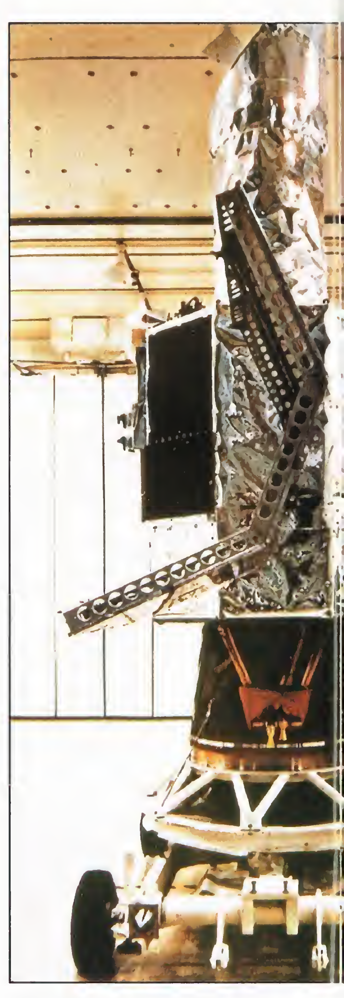
Así nacieron satélites para la astronomía X (Einstein, ROSAT, ASCA y SAX, por ejemplo) y gamma (COSB, CGRO), infrarroja (IRAS) y radio (COBE), pero también satélites capaces de recibir la radiación ultravioleta (IUE y EUVE), una radiación cuyo paso hacia la superficie terrestre es impedido por la capa de ozono. La radiación ultravioleta consiste en ondas electromagnéticas de longitud de onda menor que la visible, inferior a 4.000 angströms, hasta llegar a ondas que se encuentran en la frontera con los rayos X. Se suele hablar de ultravioleta medio (de 2.000 a 3.000 angströms), de ultravioleta lejano (de 1.000 a 2.000 angströms) y de ultravioleta extremo (por debajo de los 1.000 angströms y más allá de los 100 angströms, hasta el límite con los rayos X).

LA ABSORCIÓN DEL MEDIO INTERESTELAR

La detección de este tipo particular de radiación es notablemente más compleja que la de todas las demás porque no la detiene sólo la atmósfera terrestre sino también y sobre todo el hidrógeno que permea los espacios interestelares. Se puede decir, en una palabra, que la radiación ultravioleta, apenas surgida de un cuerpo celeste o causada por un determinado proceso físico, es detenida y absorbida por el hidrógeno del «medio



Imagen tomada por el telescopio espacial del cuásar PKS 2349. Es claramente visible la interacción del cuásar (el punto más brillante) con la galaxia compañera.





A la izquierda, el satélite IUE, el primer telescopio orbital de rayos ultravioleta, nacido de una colaboración entre la NASA, la ESA y la SRC inglesa.

TRANSICIONES ENTRE LOS NIVELES ENERGÉTICOS

La absorción se basa en el hecho de que un átomo de hidrógeno, como cualquier otro átomo, presenta niveles energéticos cuantificados. Cuando incide sobre él una radiación ultravioleta adecuada, el átomo se ioniza: absorbe esta energía y pierde su electrón, al que va a parar la energía ultravioleta incidente. La energía necesaria para ionizar un átomo de hidrógeno (para arrancarle un electrón) es de 13,6 electronvoltios, una energía que corresponde a una radiación de longitud de onda igual a 912 angstróms. Esta longitud de onda es típica de la radiación ultravioleta. Esta radiación es absorbida apenas producida porque el hidrógeno es el mayor constituyente del universo. Un fotón ultravioleta tendrá una elevadísima probabilidad de encontrar en su camino un átomo de hidrógeno y por tanto una elevadísima probabilidad de ser absorbido apenas emitido.

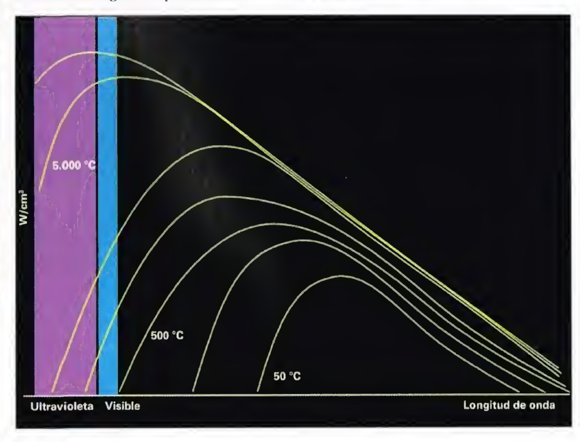
EL HIDRÓGENO INTERESTELAR

La primera observación del hidrógeno presente en el medio interestelar se produjo a través de la raya de absorción a la longitud de onda de 1.216 angstróms (la llamada «raya Lyman alfa»). En este caso, la radiación ultravioleta, al no ser lo bastante energética, no provoca la ionización del átomo de hidrógeno; lo que hace es comunicar al electrón, que se encuentra en el nivel más interno, una energía capaz de excitarlo y de hacerlo saltar a un nivel superior. También así absorbe el hidrógeno la radiación ultravioleta.

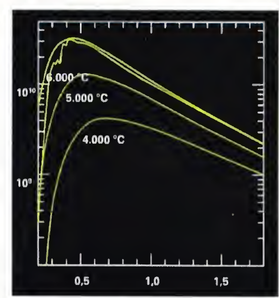
Dicho esto, tratar de captar energía ultravioleta del espacio y de los cuerpos celestes parece una empresa desesperada. En realidad no es así; los satélites de astronomía ultravioleta, como el IUE y el EUVE, han realizado contribuciones extremadamente importantes a la astronomía.

La astronomía ultravioleta es un sector de la astronomía que ha progresado mucho en los últimos años. Esto es muy importante porque la radiación ultravioleta suministra información sobre un cuerpo que no puede obtenerse partiendo de observaciones a otras longitudes de onda. En particular, el estudio en el ultravioleta informa sobre las atmósferas planetarias, sobre las estrellas más calientes y masivas, sobre el medio interestelar, sobre las nebulosas, sobre determinados sistemas binarios como las variables cataclísmicas y sobre los núcleos galácticos activos.

Un cuerpo a una cierta temperatura emite radiación que es tanto más energética cuanto mayor es dicha temperatura. En el llamado «espectro de cuerpo negro» se representa la potencia emitida por el cuerpo por unidad de volumen en función de la longitud de onda y de la temperatura. Cuanto mayor es la temperatura, tanto más se desplaza el pico de emisión del cuerpo negro hacia longitudes de onda más cortas y por lo tanto hacia energías más elevadas.



interestelar». Se habla de medio interestelar para indicar el conjunto de gases, moléculas y polvo que llena el espacio comprendido entre las estrellas. Consta en buena parte de hidrógeno, con una densidad media de aproximadamente un átomo de hidrógeno por centímetro cúbico.



El espectro del Sol es con buena aproximación el de un cuerpo negro que emite a una temperatura de unos 6.000 °C.

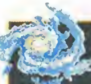
Las observaciones, por consiguiente, van de objetos próximos a objetos muy lejanos.

LAS ESTRELLAS MÁS CALIENTES

La importancia del estudio en el ultravioleta de las estrellas azules, esto es, de las estrellas que tienen las temperaturas superficiales más elevadas y una masa decenas de veces mayor que la del Sol, reside en que gran parte de la energía que pierden se emite en el ultravioleta. Este fenómeno se puede explicar a partir de la emisión de cuerpo negro: todo cuerpo caliente emite radiación, con un máximo cuya longitud de onda depende de la temperatura (ley de Wien). Por esta razón, cuando la temperatura es baja, la radiación emitida es fundamentalmente infrarroja. A medida que aumenta la temperatura del cuerpo, la radiación máxima se emite con una longitud de onda cada vez más corta. Las estrellas muy calientes, con temperaturas superficiales del orden de decenas de miles de grados (hasta 100.000 grados), emiten gran parte de su energía en forma de radiación de longitud de onda inferior a los 3.000 angströms, y por tanto radiación ultravioleta.

¿SON LAS ESTRELLAS CUERPOS NEGROS?

El estudio de estas estrellas presenta una dificultad especial. Al emitir buena parte de su energía en una región del espectro electromagnético que no es visible desde la Tierra, es difícil determinar su energía total y por lo tanto estudiar sus propiedades y su estructura. Las observaciones en el ultravioleta son todavía más importantes si se tiene en cuenta que el espectro de las estrellas más calientes (la energía que emiten en función de la longitud de onda) difiere mucho del espectro de un cuerpo negro. Por esta razón es muy difícil calcular la energía total emitida por estas estrellas si no se dispone de observaciones que permitan determinar sus características energéticas en el ultravioleta. Se puede recordar al respecto que el Sol, en cambio, es con buena aproximación un cuerpo negro que emite a una temperatura de unos 6.000 °C.

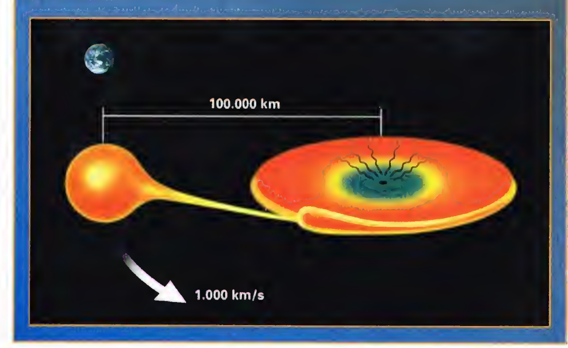


RAYOS ULTRAVIOLETA PROCEDENTES DE DISCOS DE ACRECIÓN

La emisión ultravioleta también es típica de otra serie de fenómenos, ligados a la acreción de materia sobre estrellas compactas (agujeros negros, estrellas de neutrones o enanas blancas). Cuando en los sistemas binarios el gas procedente de las capas externas de la compañera cae sobre la estrella compacta, emite radiación: la energía gravitacional de la materia que cae y se acumula sobre el objeto compacto se transforma en radiación que luego puede ser vista y detectada a años luz de distancia. En el caso de objetos compactos como las estrellas de neutrones, la radiación se emite sobre todo en forma de rayos X. En el de las enanas blancas, en cambio, la mayor parte de la radiación que se produce tiene una energía menor: ultravioleta.

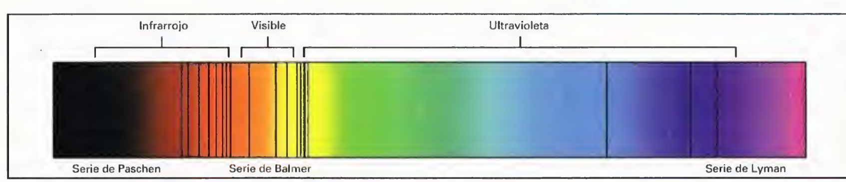
La energía no se produce sólo cuando la materia toca la superficie de la estrella compacta sino también durante la caída, que tiene lugar gradualmente con la formación de un disco de acreción alrededor del objeto compacto: la materia que fluye desde la estrella compañera empieza por formar un disco alrededor del objeto compacto y luego, girando en espiral con un radio cada vez menor, acaba por caer sobre la estrella compacta. Durante este paso por el disco se emite parte de la energía. Además, la zona más interior de un disco de acreción, al estar muy cerca de la superficie de la estrella compacta, es calentada considerablemente por la radiación X procedente de la superficie de la estrella compacta. Estos rayos X son parcialmente absorbidos por el disco de acreción y por lo tanto reemitidos en forma de radiación ultravioleta. Otros objetos en los cuales el fenómeno de acreción produce radiación ultravioleta son los núcleos galácticos activos. Se trata de los núcleos de ciertas galaxias llamadas «activas» en razón de la fuerte emisión de radiación que presentan a todas las longitudes de onda. Se cree que están formados por agujeros negros supermasivos situados en el centro de la galaxia y que su emisión de energía está ligada al hecho de que la materia próxima a los centros galácticos es fagocitada por ellos.

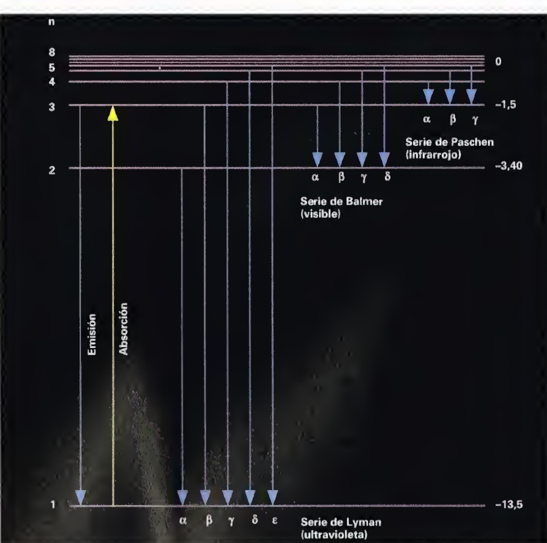
Debido a la absorción interestelar, en el estudio de estos objetos falta la parte de la radiación que emiten en la zona ultravioleta. El hecho no carece de importancia, pues se estima que es en esta región del espectro donde se produce gran parte de la emisión.



ESPECTROS ULTRAVIOLETAS

Como la espectroscopia en cualquier otra banda energética, la espectroscopia ultravioleta suministra información sobre la temperatura, pero también sobre la composición química. A partir de las rayas espectrales observadas en el espectro de un cuerpo celeste se puede deducir el tipo de





Los átomos de los elementos están formados por núcleos rodeados de electrones que ocupan niveles energéticos bien precisos. Se habla de absorción de energía por parte de un átomo cuando un electrón, bajo la acción de la energía incidente, pasa del nivel de energía que le corresponde a otro superior. Hay emisión cuando un electrón de un nivel superior cae a un nivel inferior que ha quedado vacío. Estas transiciones entre niveles energéticos producen rayas de absorción o emisión, según los casos, en los espectros de las fuentes que observamos. En las figuras se representan las rayas producidas por un átomo de hidrógeno (arriba) y los correspondientes niveles energéticos (a la derecha).

gas presente: basta comparar las rayas del espectro con las de los elementos conocidos producidos en el laboratorio. Hay que recordar aquí que precisamente a la región ultravioleta del espectro electromagnético corresponden las típicas energías de transición entre niveles de átomos como el hidrógeno y el helio, el oxígeno, el carbono y el nitrógeno, de moléculas como el hidrógeno molecular, el nitrógeno molecular y el óxido de carbono, todos muy abundantes en el universo.

Éstas son las razones por las que la astronomía ultravioleta es tan importante para la determinación de la composición química, en particular la del medio interestelar y de las atmósferas de los planetas y las estrellas.

LAS NEBULOSAS Y LA EMISIÓN UV

En el interior de masas de gas y polvo se producen fenómenos interesantes ligados a la radiación ultravioleta. Nuestra Galaxia es riquísima en objetos nebulares, remanentes de supernovas, regiones HII y nebulosas planetarias. Se trata de gas y materia interestelar que tienen orígenes diversos: las supernovas y las nebulosas planetarias son los residuos de las explosiones más o menos violentas de estrellas de distinta masa, mientras que las regiones HII son masas de gas destinadas a formar estrellas. Las nebulosas planetarias son zonas en las que se produce emisión ultravioleta, pues están formadas por el gas expulsado durante la muerte de estrellas de pequeña masa cuya parte central se ha contraído hasta formar una enana blanca. Las enanas blancas son estrellas extremadamente calientes y por lo tanto fuentes de radiación ultravioleta, la cual ioniza a su vez la nebulosa que la rodea. Las regiones HII, en cambio, son regiones de formación estelar: se encuentran cerca de las estrellas masivas de tipo O y B. También en este caso, la radiación ultravioleta procedente de estas estrellas produce la ionización del hidrógeno, que en términos técnicos se llama precisamente HII.

Un átomo neutro de hidrógeno absorbe esta radiación ultravioleta procedente de las estrellas y entonces emite su electrón. Este electrón, al estar inmerso en una nube de gas, tiene una elevada probabilidad de encontrar un protón y ser capturado por él para formar otra vez un átomo de hidrógeno. Se habla de «recombinación», un proceso que va acompañado de emisión de energía a longitudes de onda más largas que las de la energía ultravioleta.



Las estrellas con una masa decenas de veces mayor que la del Sol tienen también temperaturas superficiales superiores. En un diagrama HR, estas estrellas ocupan la parte superior izquierda de la secuencia principal.

EL ÚNICO VIAJE A MERCURIO

Mercurio es un planeta pequeño, muy próximo al Sol y difícil de observar; estas características lo convertían en un objeto del sistema solar bastante misterioso. Pero en 1973 una misión interplanetaria lo sobrevoló de cerca, revelando, en parte al menos, sus secretos geológicos y geofísicos. Desde entonces no se ha llevado a cabo ninguna otra misión.



Antes de que dieran comienzo las misiones espaciales, Mercurio, como se puede deducir de la confusión que reinaba sobre su período orbital, era un cuerpo celeste relativamente desconocido.

Muy poco se podía decir de su superficie, ya que ni siquiera los telescopios más potentes detectaban características inferiores a los 300 km; existían, sin embargo, algunos datos que avalaban la semejanza existente entre Mercurio y la Luna.

Estudios fotométricos habían demostrado que Mercurio, como la Luna, refleja sólo el 7% de la luz solar incidente; las observaciones polarimétricas habían revelado una superficie polvorienta y opaca como la del regolito, el elemento que cubre la superficie de nuestro satélite, la Luna.

Una vez conocida su masa, fue fácil determinar la densidad de Mercurio, que resultó ser de 5,4 g/cm^3, próxima a la de la Tierra. Esto indicaba la presencia de un gran núcleo metálico con una corteza y un manto, relativamente delgado, compuesto de silicatos. La incertidumbre que existía sobre el período de rotación hizo surgir dudas sobre la presencia o ausencia de atmósfera.

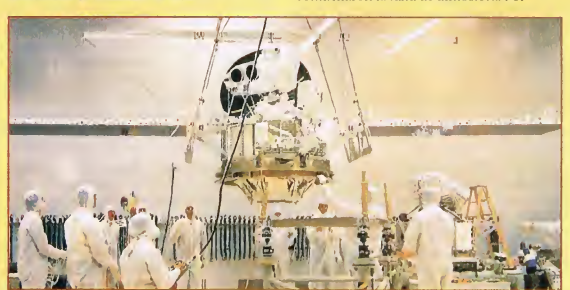
Antes de que dieran comienzo los estudios en la banda radioeléctrica, se creía que una parte del planeta era extremadamente fría y que, pese a la masa relativamente pequeña, la atmósfera podía equivaler a 10 milibares de dióxido de carbono; había quien sostenía incluso haber visto algunas zonas de la superficie oscurecidas por nubes o «velos» de polvo. Pero observaciones más precisas, sobre todo durante el paso de Mercurio ante el Sol, no revelaron el menor indicio de efectos de refracción y los datos de radar confirmaron la falta de atmósfera. Por desgracia, no fue posible averiguar nada a propósito de la composición y la edad de las rocas de su superficie, de la presencia de cráteres o de la existencia de campo magnético. Mercurio, por tanto, era un planeta casi totalmente desconocido, listo para una exploración más detallada.



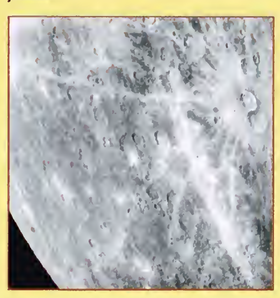
Mosaico de dos imágenes de Mercurio tomadas por la Mariner 10 el 29 de marzo de 1974.

LA MARINER 10: UNA PERFECTA SONDA CELESTE

Si hubiese que dar un premio a la misión espacial más significativa, sería difícil decidir a cuál asignarlo, pero seguramente la misión Mariner 10 entraría en el elenco de las misiones seleccionadas. Fue una



Fase del ensamblaje de la Mariner 10 antes del lanzamiento de noviembre de 1973.



En la imagen de abajo son visibles dos cráteres con aureola (arriba a la derecha). Su luminosidad indica que se trata de estructuras jóvenes.



La Mariner 10, lanzada al espacio mediante un vector Atlas-Centauro.

A la derecha, dos imágenes del cráter Esiado, visible abajo a la izquierda, caracterizado por la presencia de otro pequeño cráter en su interior.



misión de enorme éxito que brindó nuevos y sorprendentes conocimientos sobre un mundo totalmente desconocido.

La Mariner 10 fue una misión perfectamente proyectada que dio comienzo en noviembre de 1973. La trayectoria se calculó de modo tal que tres meses después de la partida la sonda pasase a menos de 6.000 km de Venus.

Durante el viaje a través del espacio, cerca de Venus, la desviación gravitacional producida por la masa de este planeta modificó la dirección y la velocidad de la sonda espacial, situándola en una nueva trayectoria que la puso en órbita alrededor del Sol.

La órbita había sido cuidadosamente elegida de tal modo que la sonda pasara tres veces por las cercanías de Mercurio antes de dejar de funcionar.

La sonda llevaba a bordo muchos instrumentos: telecámaras para observar la superficie, un espectrómetro para buscar eventuales trazas de gases atmosféricos, un sensor de rayos infrarrojos para examinar la temperatura superficial y un magnetómetro para detectar eventuales campos magnéticos.

Los resultados combinados de todas estas observaciones contribuyeron a incrementar en gran medida nuestro conocimiento de Mercurio. De un pequeño y oscuro disco perdido en la claridad del Sol, Mercurio pasó de pronto a ser un «nuevo» planeta con una «identidad» propia.

UNA COSECHA DE INFORMACIONES

Los científicos de la misión Mariner 10, que abarrotaban la sala de control del Jet Propulsion Laboratory de Pasadena con ocasión del primer paso en marzo de 1974, vieron llegar un río de fotografías mientras el planeta dejaba de ser un pequeño punto blanco en la lejanía y llenaba toda la pantalla mostrando por primera vez su superficie.

No es difícil imaginar la excitación que se apoderó de los presentes en aquellos momentos tan importantes para la ciencia astronómica.

La primera vez, la sonda espacial pasó cerca de las regiones ecuatoriales del planeta a una distancia de unos 700 km; el segundo paso lo realizó por encima del polo sur a una distancia de 5.000 km y el tercero a apenas 350 km de altura sobre el hemisferio septentrional.

Los dos pasos siguientes proporcionaron miles de óptimas fotografías detalladas de la superficie, suficientes para dar trabajo durante años a multitud de geólogos. Después del tercer paso, se había obtenido un material fotográfico que abarcaba cerca del 40% de la superficie del planeta.

Las fotografías revelaron un mundo árido y desolado, una triste avanzadilla, profundamente craterizada, del sistema solar. La superficie de Mercurio resultaba muy similar a la de la Luna; se veían cráteres de los cuales salían rayas blancas, exactamente como algunos cráteres lunares.

Pero aunque a primera vista es difícil distinguir una fotografía próxima de la Luna de otra de Mercurio, un examen minucioso revela importantes diferencias.

En la Luna, por ejemplo, es fácil observar dos tipos diferentes de terrenos: los altiplanos de color claro sembrados de

Abajo, un modelo de la Mariner 10 que muestra el aspecto de la sonda durante el vuelo.



En el centro de la imagen se ve un cráter con un doble anillo. Su diámetro es de unos 200 km.





Imagen de la estructura conocida como «roca de Santa María», el elemento sinuoso y oscuro que atraviesa la fotografía verticalmente. Se cree que se trata de una falla enorme.

A la derecha, fotografía tomada por la Mariner 10 de la región de Mercurio situada en las antípodas de la cuenca de impacto Caloris. Se cree que las ondas sísmicas producidas por este impacto son las causantes del aspecto «caótico» de esta región.



cráteres y las llanuras de los mares, cubiertas de lava más oscura. En Mercurio, en cambio, el contraste no es tan marcado. Además, en la Luna se reconocen huellas evidentes de una cierta actividad volcánica relativamente reciente que ha dado origen a las lavas de los mares; en Mercurio no hay fenómenos similares. Las fotografías de la superficie de Mercurio tomadas por la Mariner 10 son equivalentes, por sus detalles, a las de la Luna tomadas con un telescopio de gran potencia. Cualquiera que haya observado la Luna, aunque sólo sea con un pequeño telescopio, se dará cuenta de la cantidad de trabajo que los científicos de la Mariner 10 afrontaron. Tuvieron que trazar un mapa del planeta, en el que figuraran los accidentes geográficos con sus topónimos, y tratar de comprender, en parte al menos, su geología.

Lo primero que hay que hacer para trazar el mapa de un planeta es elegir un sistema de coordenadas similar al terrestre. En la Tierra, el círculo de longitud 0 grados, o primer meridiano, se fijó utilizando el Observatorio Real de Greenwich como punto de referencia, aunque cualquier otro lugar habría funcionado igual de bien (durante muchos años se prefirió París).

Para las longitudes, en Mercurio se ha decidido hacer pasar el meridiano de 20 grados por el centro de un pequeño cráter denominado Hun Kal, que en lengua maya significa precisamente «veinte».

Este nombre nos introduce en un problema astronómico curioso: ¿cómo bautizar todas las características de un cuerpo celeste recién descubierto? La tarea es más bien dura, tanto como tener que dar nombre a todas las montañas, ríos, colinas y valles de un país como España o Francia.

¿Por dónde empezar? Lo primero es formar un comité para la nomenclatura. El de Mercurio, que trabajó bajo los auspicios de la Unión Astronómica Internacional, introdujo reglas bastante originales.

A los valles principales se les dieron nombres de famosos observatorios radioastronómicos, como Arecibo, Goldstone y Crimea, mientras que las montañas recibieron nombres de naves que participaron en grandes viajes de descubrimiento, como Fram, Endeavour, Vostok, Santa María y otros.

Para las llanuras se decidió utilizar el nombre del planeta Mercurio en diversas lenguas: Tir, Bouda, Odin, Sokolu, etc.

No hay ningún criterio riguroso para bautizar los cráteres.

Al ser un planeta interior respecto a la Tierra, Mercurio presenta fases análogas a las de la Luna.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

MOVIMIENTOS Y FASES DE LA LUNA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LENTES GRAVITATORIAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

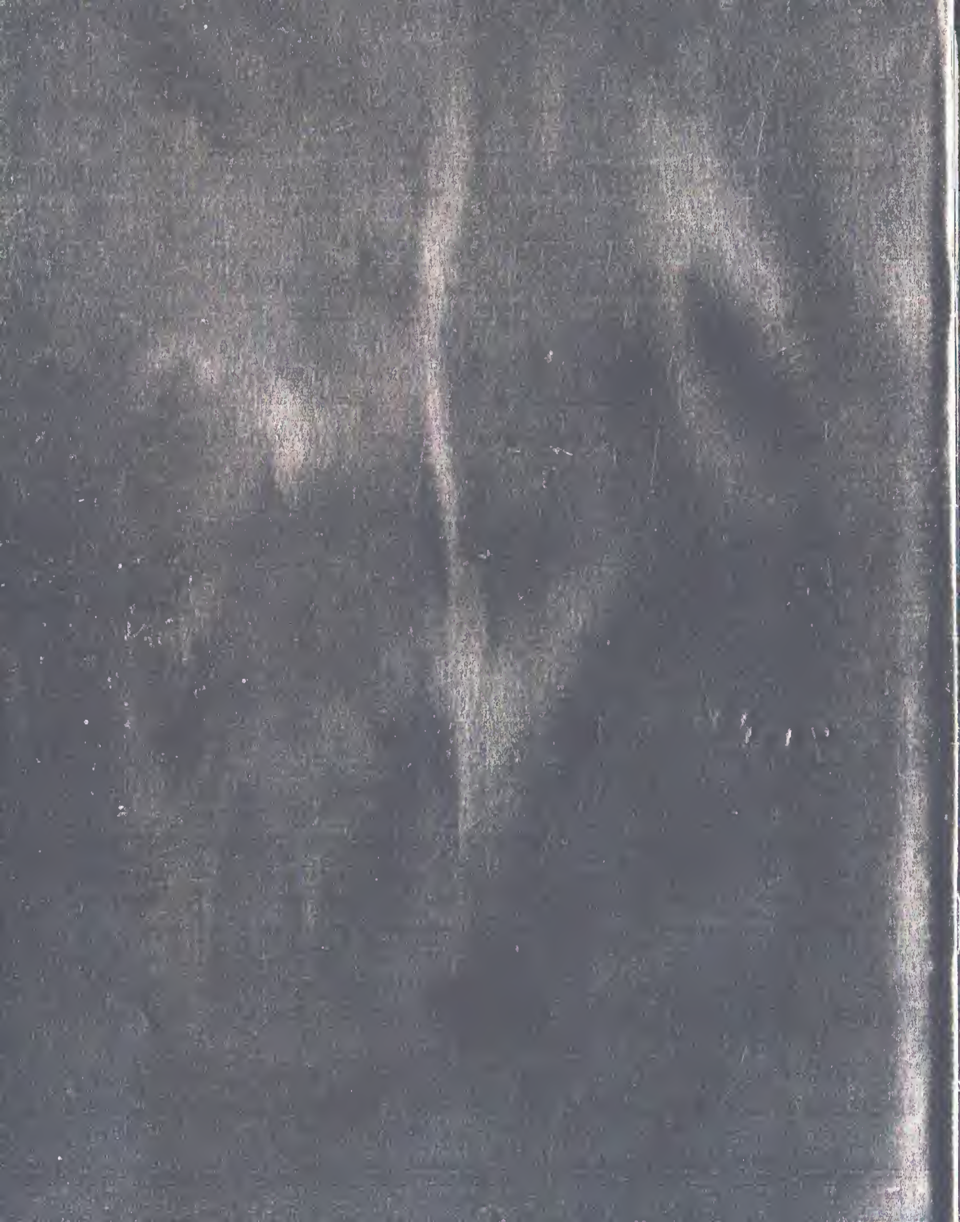
HIDRA AUSTRAL-TUCÁN

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

APOLLO 13

EL USO DEL ESPACIO

OJOS NUEVOS EN EL CIELO



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

59



788439 554219
10059

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinstock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

MOVIMIENTOS Y FASES DE LA LUNA

¿Por qué vemos más de la mitad de la superficie lunar? Hoy, esta y otras preguntas relativas al movimiento de nuestro satélite ya tienen respuesta. Sin embargo, a pesar de que la Luna es el objeto celeste más próximo a nosotros, calcular su órbita todavía es difícil: se han descubierto más de 37.000 factores que influyen en sus movimientos.



Durante una órbita de la Luna alrededor de la Tierra, la distancia que separa ambos cuerpos celestes puede variar muchísimo: hasta 1/8 del valor medio. A la distancia máxima de la Tierra, el diámetro aparente de la Luna es aproximadamente 9/10 del que nos muestra cuando se encuentra a la distancia mínima. Tampoco el perigeo y el apogeo son fijos. A pesar de que se trata del objeto celeste más cercano a la Tierra, calcular el movimiento de la Luna es una tarea difícil. Este tipo de medidas se refiere siempre a los centros de los dos cuerpos celestes y no a sus superficies.

Deben considerarse también las perturbaciones debidas a la atracción gravitatoria del Sol, al abultamiento ecuatorial de la Tierra y a la influencia de los planetas. Además, la magnitud de las perturbaciones provocadas por todos estos cuerpos varía continuamente, ya que también varían las posiciones de cada uno de ellos en el sistema solar.

En la imagen a toda página, parte de la superficie lunar tal como se ve desde la Tierra. En esta fase no es visible toda la superficie de nuestro satélite.



Arriba, libración de la Luna en latitud. El polo lunar no es perpendicular al plano de la órbita del satélite.

Las técnicas más modernas para medir la distancia Tierra-Luna se basan en el empleo del láser. Se envía un rayo láser a la Luna, el cual, por reflexión, vuelve a la Tierra. Sabiendo la velocidad del rayo enviado y calculando el tiempo que emplea en cubrir el recorrido de ida y vuelta, es posible obtener, con una diferencia muy pequeña (pocos centímetros), el valor que se busca. La teoría que predice el comportamiento de la órbita lunar tiene en cuenta muchos factores periódicos, algunos de los cuales apenas modifican el valor en 2 cm. Sin embargo, la precisión que se obtiene con el láser obliga a los astrónomos a tener presentes incluso las variables más pequeñas.

IMPORTANCIA DE LA DISTANCIA TIERRA-LUNA

Esta medida no sólo permite verificar nuestras teorías sobre el movimiento lunar, sino también conocer exactamente la distancia Tierra-Luna. Esta información es importante porque influye sobre otros fenómenos. Las mismas teorías sobre el material que forma el interior de la Luna dependen en parte de tales valores. Gracias a esta medida, es posible obtener en un tiempo muy breve indicaciones exactas sobre la disminución de velocidad (no regular) de la rotación terrestre. La distancia de la Luna a la Tierra interviene también en la medición de la deriva de los continentes, cuyos desplazamientos pueden ser de algunos centímetros por año.

LA ÓRBITA LUNAR

El tiempo que emplea la Luna en efectuar una órbita completa merece un discurso especial: a pesar de que gira alrededor de la Tierra, ésta no está inmóvil en el espacio, sino que, a su vez, gira alrededor del Sol. Respecto a las estrellas que son fijas, un mes lunar dura 27,32 días (mes sideral), pero el tiempo que tarda la Luna en volver a la misma fase respecto a la Tierra es diferente, ya que interviene el movimiento de ambos cuerpos. Este intervalo, llamado mes sinódico, equivale a 29,5 días.

El plano de la órbita lunar no coincide con el terrestre (eclíptica), sino que está inclinado unos 5° 19'. Esto es importante porque gracias a la existencia de un ángulo entre los dos planos no se producen cada mes eclipses en la superficie terrestre.

Con el tiempo, los nodos –puntos de intersección de los dos planos– se mueven con un desplazamiento de 19° por año. También la línea de los ápsides –la que une el perigeo con el apogeo– se mueve, aunque en dirección opuesta. El período de este último movimiento es de 8,85 años.

ALGUNOS DATOS

A diferencia de la Tierra, la Luna no está achatada en los polos, y su forma es muy parecida a la de una esfera. El eje mayor difiere del menor en 1,5 km aproximadamente, y el eje más largo es el que está vuelto hacia la Tierra. De todas las lunas del sistema solar, la nuestra y Caronte (de Plutón) son proporcionalmente las mayores respecto al planeta en torno al cual giran. En términos absolutos, Ío, Ganimedes y Calisto (de Júpiter), Titán (de Saturno) y Tritón (de Neptuno) tienen un diámetro mayor, pero todas orbitan alrededor de gigantes gaseosos mucho mayores que la Tierra. El centro de masas del sistema Tierra-Luna se encuentra en el interior de la Tierra, a 4.635 km del centro. Por tanto, sería más correcto en un mes lunar hablar de rotación de ambos cuerpos alrededor de un centro común.

ROTACIÓN Y TRASLACIÓN

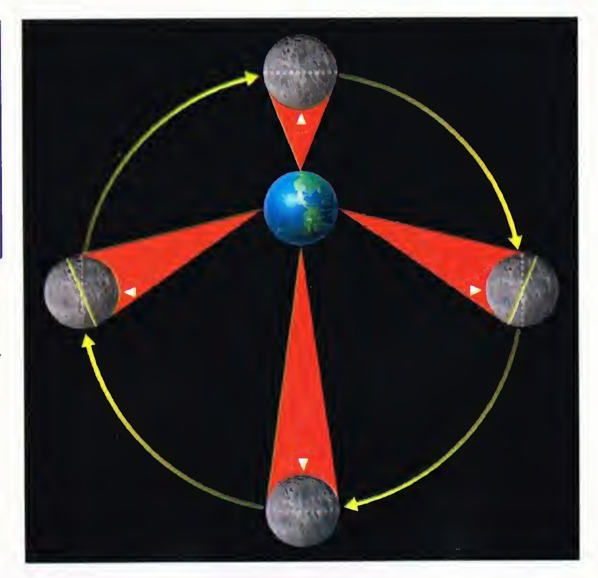
Como ya se ha indicado en otras ocasiones, el movimiento de rotación y el de traslación están sincronizados, es decir, la Luna tarda el mismo tiempo en efectuar una rotación completa alrededor de su propio eje que en girar alrededor de la Tierra. Esto se debe a la fuerza gravitatoria terrestre, que, a lo largo del tiempo, ha hecho disminuir la velocidad inicial de la rotación lunar. Una consecuencia interesante de ello es que los

En este fotomontaje se han reunido algunas fotografías de la Luna tomadas en diferentes momentos de un mismo mes. Resulta clara la secuencia de las fases lunares.



LA NUTACIÓN TERRESTRE

La variación de la dirección del eje terrestre, más conocida como precesión, está influida por el ángulo que forma la órbita lunar con la terrestre. El movimiento de la línea de los nodos lunares determina una oscilación del eje terrestre llamada nutación. El movimiento cónico recorrido por el eje se efectúa con pequeñas oscilaciones a una y otra parte respecto al recorrido medio.

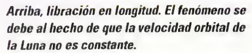


movimientos del Sol en el firmamento de la Luna son muy lentos: basta decir que el Sol permanece sobre el horizonte durante 354 horas consecutivas, y que el disco solar tarda más de una hora en emerger completamente. En una semana, el Sol asciende desde el horizonte hasta el punto más alto del firmamento, y en otra llega a la puesta. El eje de rotación de la Luna está poco inclinado respecto al plano de la órbita y, por tanto, las variaciones estacionales son mínimas.

UN MOVIMIENTO PERTURBADO

Calcular la posición de la Luna en una fecha cualquiera es un grave problema. El motivo de esta complejidad es que, para hacer este cálculo, hay que considerar una cantidad enorme de perturbaciones que sufre el movimiento lunar. Se han descubierto casi 37.000 factores periódicos que deben considerarse en este cálculo. Una de las principales perturbaciones la provoca la distancia Luna-Sol. Este valor varía continuamente y, por consiguiente, hace variar también la atracción gravitatoria que el Sol ejerce sobre la Luna. En cuarto creciente y en cuarto menguante, Tierra y Luna tienden a aproximarse porque sufren aceleraciones en direcciones convergentes. Durante el novilunio, es la Luna la que sufre más atracción, mientras que en el plenilunio esta mayor atracción la sufre la Tierra. Éste es el origen de las principales perturbaciones sobre el movimiento lunar.

La excentricidad de la órbita oscila incesantemente, provocando un avance del perigeo lunar y una oscilación de 1° 16' alrededor de la posición que ocuparía en la órbita elíptica si no hubiese perturbaciones. Otro efecto, llamado «variación», descubierto por Tycho Brahe, hace que la Luna se desplace hacia adelante y hacia atrás respecto a su posición media. Por su parte, Kepler identificó una anomalía en el movimiento angular de la Luna; se debe al hecho de que la distancia Tierra-Sol varía en el período de un año. Tampoco el ángulo entre la órbita lunar y la terrestre es constante, sino que oscila entre 4° 58' y 5° 19'. Otros efectos se deben a los movimientos, ya citados, de la línea de los nodos y de la línea del apogeo-perigeo. Especialmente, el desplazamiento de la línea de los nodos obliga a la Luna a volver al mismo nodo en un tiempo algo inferior a un mes sideral. Este período se llama «dracóntico», ya que el dragón es el símbolo de los nodos.



Arriba, libración en longitud. El fenómeno se debe al hecho de que la velocidad orbital de la Luna no es constante.

LIBRACIONES LUNARES

El sincronismo que existe entre los movimientos lunares de rotación y traslación podría hacer pensar que la superficie lunar visible desde la Tierra es igual a la mitad de la total. Pero, en realidad, nosotros vemos el



Cuarto creciente

Luna llena

Medianoche

18ʰ

12ʰ

6ʰ

Luna nueva

Luz del Sol

Cuarto menguante

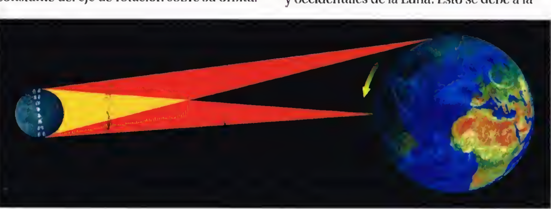
59% de la superficie de la Luna gracias a las oscilaciones aparentes de su esfera, producidas por cambios de posición de la Tierra.

La libración en latitud permite ver alternativamente una mayor cantidad de regiones polares al norte y al sur de la Luna. Esta libración se debe a la inclinación constante del eje de rotación sobre su órbita. Esto significa que un punto del ecuador lunar se encuentra periódicamente por encima y por debajo del plano de la órbita, permitiendo la observación de una parte mayor de la región polar opuesta.

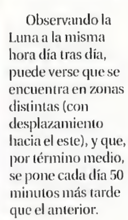
La libración en longitud es la que nos permite observar –también en este caso alternativamente– las regiones orientales y occidentales de la Luna. Esto se debe a la excentricidad de la órbita lunar y al hecho de que, según las leyes de Kepler, el movimiento de traslación se produce con una velocidad variable, mientras que el de rotación es constante.

Arriba, esquema de las fases lunares. En el círculo exterior se representa lo que se ve desde la Tierra; en el interior, las condiciones de iluminación.

La libración diurna, llamada también paraláctica, permite, cuando la Luna sale, ver su superficie más allá del borde este, y, cuando se pone, verla más allá del borde oeste. Esta libración se debe a nuestra posición en el momento en que efectuamos la observación: como no nos encontramos en



A la izquierda, libración diurna. Se debe al hecho de que un observador terrestre ve la Luna desde diferentes ángulos.

El dibujo de la izquierda muestra las dimensiones relativas de la Tierra, con un diámetro de 12.756 km, y de la Luna, con un diámetro de 3.476 km.

el centro de la Tierra, sino en su superficie, cambiaremos nuestro punto de vista con la rotación de la Tierra. La magnitud de esta variación es igual al ángulo bajo el cual se ve el radio terrestre desde la Luna.

La libración de menor magnitud se denomina libración física, ya que no se debe a motivos de perspectiva, sino a irregularidades reales de la rotación lunar. La Luna oscila alrededor de su centro de gravedad, aunque de manera imperceptible.

La suma de los efectos de las tres libraciones principales hace que un punto situado sobre la superficie lunar efectúe una libración aparente moviéndose en espiral y no volviendo a la misma posición.

LAS FASES LUNARES

Durante el mes lunar, el cambio aparente del disco de nuestro satélite es, indiscutiblemente, el aspecto más evidente.

Las fases se deben a la mutación continua de las posiciones de la Luna y de la Tierra respecto al Sol. Dado que la Luna no se halla normalmente en el mismo plano que la Tierra, será invisible (Luna nueva) si se encuentra en medio entre el Sol y la Tierra, ya que nos muestra su lado oscuro. En cambio, si es la Tierra la que se encuentra en medio, la luz reflejada por la Luna ilumina de lleno la faz nocturna de la Tierra, lo que hace que veamos la Luna llena. Cuando el ángulo entre los tres cuerpos celestes es de 90° –esto ocurre dos veces en un mes lunar–, desde nuestro planeta vemos solamente la mitad del disco lunar iluminado (cuarto creciente y cuarto menguante). En las posiciones intermedias, es visible una hoz más o menos grande.

Observando la Luna a la misma hora día tras día, puede verse que se encuentra en zonas distintas (con desplazamiento hacia el este), y que, por término medio, se pone cada día 50 minutos más tarde que el anterior.

LA LUNA Y LAS ESTACIONES

En verano, la Luna llena está baja en el horizonte meridional; en invierno, culmina en un punto no muy distante del cenit. La explicación hay que buscarla en la posición de las órbitas y en la inclinación de los planos de ambos cuerpos celestes. Por ejemplo, la Luna es llena cuando se encuentra más allá de la Tierra respecto al Sol; se traslada a lo largo del meridiano superior y, por tanto, el Sol debe hallarse en la otra parte, en el meridiano inferior. Esto significa que, en las proximidades del solsticio de invierno, cuando el Sol está bajo, la Luna estará muy alta en el firmamento, y que, por el contrario, en el solsticio de verano, el Sol estará muy alto, mientras que la altura de la Luna será menor.

LA LUNA NOS ESTÁ FRENANDO

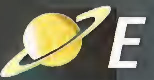
Como sabemos, la gran proximidad entre la Tierra y la Luna determina el fenómeno de las mareas. La pérdida de energia debida precisamente a estas mareas produce la disminución de la velocidad de rotación de la Tierra alrededor de su eje. Las masas de agua desplazadas por las mareas también sufren una atracción que favorece esa disminución, transfiriendo energía al sistema Tierra-Luna. Por eso, nuestro satélite se aleja y continuará haciéndolo hasta que la Tierra y la Luna presenten siempre una a la otra la misma cara. En ese momento, el día terrestre durará dos semanas y las mareas perderán toda su fuerza. Las teorias modernas confirman esta disminución del movimiento de rotación terrestre y le asignan un valor aproximado de 2 milésimas de segundo por siglo.



A la derecha, otra sugestiva imagen de nuestro satélite. A causa de las libraciones, observamos más de la mitad de su superficie.

LENTES GRAVITATORIAS

La luz desviada por el espacio-tiempo curvo de la relatividad einsteniana crea imágenes múltiples y arcos luminosos; se amplifica y nos permite ver objetos extremadamente lejanos.



El potencial gravitatorio que existe alrededor de los objetos masivos, o la curvatura del espacio-tiempo que los rodea según la visión einsteniana de la gravitación, pliega las trayectorias de todos los cuerpos que llegan a sus alrededores. También la luz, que no tiene masa, sino que es energía pura, es influida por la curvatura, de modo que el rayo de luz queda doblado según la dirección de la aceleración de la gravedad. La prueba se hizo durante el famoso eclipse total de Sol de 1919. Las estrellas, que de día se veían muy próximas al Sol, se observaron desplazadas respecto a su posición normal.

Si en lugar de nuestro Sol consideramos un objeto mucho más masivo, es posible pensar que una fuente detrás de este objeto puede enviar más de un rayo de luz, que, desviado por la gran masa, llega a un mismo punto de observación, o bien que los rayos de luz son enfocados. En tal caso, la presencia de materia actúa como una lente de cristal. El efecto se llama lente gravitatoria.

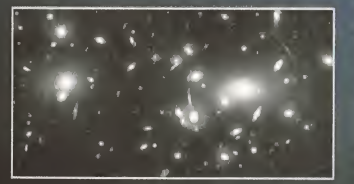
Einstein previó esta consecuencia de su teoría de la relatividad general y, en 1936, publicó un artículo sobre el tema.

Pero hubo que esperar a 1979 para que los astrónomos observaran una verdadera lente gravitatoria: se trataba del cuásar 0957+571, que mostraba dos imágenes idénticas separadas por un ángulo pequeñísimo. Los astrónomos Walsh, Carswell y Weyman pudieron separar las dos imágenes y descubrir la de una débil galaxia, situada casi en la línea de visión, que había plegado la luz del distante cuásar. Era sólo una hipótesis que rivalizaba con otra: la posibilidad de dos cuásares gemelos. Pero la verificación espectroscópica de la identidad de los dos objetos puso fin a la controversia y dio nombre a la primera lente gravitatoria observada.

Los ángulos de deflexión son tan pequeños –sólo unas pocas décimas de segundo de arco– que el efecto visible es ínfimo y sólo puede ser observado en condiciones meteorológicas óptimas. Afortunadamente, la cantidad de galaxias y de cúmulos de galaxias es tan grande, que actualmente se han observado ya decenas de casos de lentes gravitatorias.



A la derecha, sistema compuesto de un cuásar (la cruz en el centro) con los dos lóbulos que emiten en ondas radio. Esta imagen, obtenida en 1989 por Langston y sus colaboradores con un radiotelescopio, muestra el cuásar MG1654+1346. Uno de los dos lóbulos –abajo, a la derecha– tiene una imagen modificada por la presencia de una galaxia más próxima, situada en la línea de visión. En esta imagen radio, la galaxia no es visible (su posición está indicada por la cruz en el centro del anillo), mientras que se aprecia claramente el anillo de Einstein creado ilusoriamente por su gravedad.

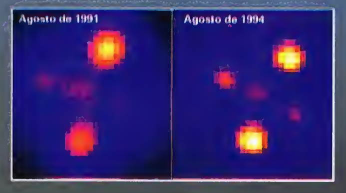


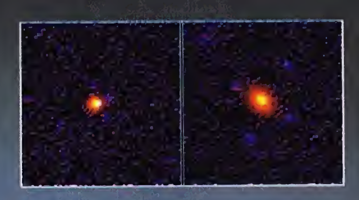
A la izquierda, el cúmulo Abell 2218 observado por el telescopio espacial Hubble. Esta imagen, hoy famosísima, contiene una extraordinaria concentración de arcos gravitatorios, imágenes de galaxias más alejadas del cúmulo. La capacidad del Hubble para resolver y la potencia de la lente gravitatoria de Abell 2218 han hecho posible lograr imágenes múltiples de siete galaxias de fondo. En este campo se han medido 120 arcos menores, lo que ha permitido reconstruir la distribución de masa de la materia visible y de la oscura del cúmulo.

LA GRAVEDAD EN ACCIÓN

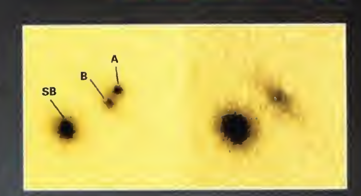
Cuando un rayo de luz viaja una longitud dl en una región en la que la aceleración de la gravedad debida a las masas presentes tiene un valor g y es perpendicular a su trayectoria, sufre una desviación de un ángulo α equivalente a $\alpha = 2gdl/c^2$. Esta medida fue efectuada y validada por Eddington durante el eclipse total de 1919 (c es la velocidad de la luz). Dado

La Cruz de Einstein, catalogada como 2237+0305, es un ejemplo de imagen múltiple de un cuásar. Las imágenes fueron tomadas con el telescopio William Herschel desde las islas Canarias; la primera por G. Lewis en 1991 y la segunda por M. Irwin en 1994. Con el tiempo, una de las imágenes gemelas se hizo más brillante: magnitud 0,5.





Recientemente, analizando imágenes tomadas con el Hubble, se ha descubierto una clase nueva de objetos, visualizados a través de una lente gravitatoria. Los cuatro objetos azules de la ilustración de la izquierda son cuatro imágenes de la misma galaxia, que por su color se halla muy alejado y tiene una edad extremadamente joven. La galaxia roja del centro, más próxima a la Tierra, ha permitido ver mucho más lejos gracias a su campo gravitatorio.



Los astrónomos europeos Jannsen y Hjorth han podido detectar la causante directa del desdoblamiento de la imagen del cuásar a $z = 1{,}61$ denominado B1600+434. Las imágenes puntiformes visibles en la fotografía de la izquierda se han eliminado para hacer visible (a la derecha) la galaxia espiral que se encuentra a un redshift $z \approx 0{,}4$ y que actúa como lente.

que g es proporcional a la masa del objeto que genera la gravedad, con masas suficientemente grandes el ángulo α adquiere valores tales que nos permiten observar una lente gravitatoria en acción sobre objetos muy alejados, como los cuásares y las galaxias del universo joven.

Pero su comportamiento no es el de una lente óptica perfecta. Las imágenes no aparecen ampliadas homogéneamente, sino distorsionadas. Las configuraciones más corrientes son las imágenes dobles o múltiples de un mismo objeto (en este caso, las trayectorias de los rayos de luz que llegan al observador son muy diferentes entre sí) o las distorsiones en arco de la fuente (aquí, el campo gravitatorio es más difuso, como en los cúmulos de galaxias). Sin embargo, puede ocurrir –y se ha observado en diversas ocasiones– que el alineamiento fuente-lente-observador sea casi perfecto. Entonces, la imagen distorsionada es un anillo de luz –el llamado «anillo de Einstein»– y su diámetro proporciona una buena medida de la masa del objeto-lente.

LA LUZ LLEGA CON RETRASO

Un fenómeno interesante es el de los retrasos temporales. En el caso de imágenes múltiples de un mismo objeto, la luz ha viajado siguiendo trayectorias que pueden tener varias longitudes. Por otra parte, la luz viaja más lentamente cuando está sometida a un campo gravitatorio. Los diversos tiempos de llegada de la luz pueden manifestarse en el caso de que la fuente sea un objeto de luminosidad variable. Muchas veces, un cuásar presenta variabilidad, y las lentes gravitatorias pueden manifestar este retraso temporal: una medida cuidadosa podría dar un valor muy exacto de la constante de Hubble, H_0, que indica el ritmo de expansión del universo.

AUMENTO LUMINOSO

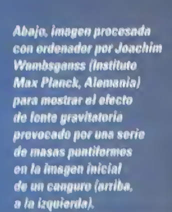
El brillo de un objeto no depende de su distancia. Esto significa que un pequeño cuadrado de la superficie del Sol mantiene su luminosidad aunque se aproxime o se aleje, ya que las dimensiones del Sol son siempre mayores que este cuadrado.

Lo que cambia es la dimensión aparente del disco solar: cuando el Sol está más próximo, se nos aparece mucho mayor y, por tanto, la cantidad de luz que nos llega también es mayor, mientras que al planeta Plutón, muy alejado del Sol, le llega poca luz y poco calor, y nuestra estrella se ve como una diminuta esfera en el fondo del firmamento.

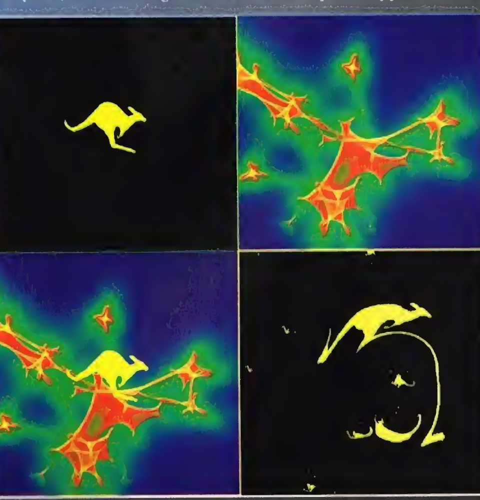
Algunos objetos muy alejados son demasiado débiles para ser observados incluso con los telescopios más potentes. Como las lentes gravitatorias hacen llegar al observador mayor cantidad de luz, amplían las imágenes de tales objetos, que de este modo resultan más luminosas para nosotros. Esto hace posible observar objetos muy débiles. También hay objetos que pueden mostrar variaciones aparentes de luminosidad si una masa se interpone en nuestra línea de visión y nos amplía temporalmente la imagen.

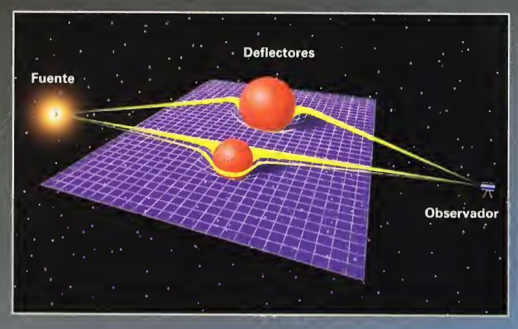
ASTRÓNOMOS EN ACCIÓN

A partir de 1979, son muchas las lentes que se han observado, como muchos son los programas de investigación que buscan otras nuevas. A pesar de todo, las configuraciones favorables para una lente gravitatoria son tan raras que en muy pocos casos la

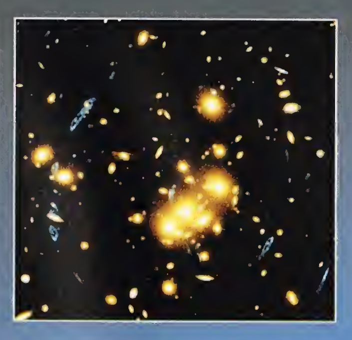


Abajo, imagen procesada con ordenador por Joachim Wambsganss (Institute Max Planck, Alemania) para mostrar el efecto de lente gravitatoria provocado por una serie de masas puntiformes en la imagen inicial de un canguro (arriba, a la izquierda).





El campo gravitatorio generado por la masa curva el espacio-tiempo como una pequeña pelota sobre una capa de goma. Las trayectorias de los cuerpos y de los rayos de luz, que de otro modo serían rectilíneas, se pliegan hacia la masa. En el caso de los rayos de luz, el ángulo de deflexión es mucho más pequeño, ya que la masa en reposo del fotón es nula. Un observador que se hallara en un punto que recibiera dos (o más) rayos emitidos por la misma fuente tendría la impresión de observar dos (o más) objetos idénticos. Si la masa que actúa como lente no es puntiforme, la geometría de la imagen también puede estar muy distorsionada.



El telescopio espacial Hubble ha tomado esta imagen espectacular de una galaxia joven en pleno fase de formación estelar. El extraño disco de color azul, una fragua de nuevas estrellas, ha sido tomado cinco veces en esta imagen, en la que el campo gravitatorio del cúmulo Abell 370 curva la luz emitida por esta lejana galaxia.

búsqueda se hace sobre seguro. Así, la mayor parte de los descubrimientos ocurren de manera casual durante otras investigaciones.

VISIÓN DOBLE

Las imágenes de cuásares múltiples no constituyen en sí mismas verdaderos objetivos científicos. Los primeros observadores buscaban las contrapartidas ópticas de fuentes que emitían en ondas radio. Descubierta la naturaleza cuásar del primer objeto, hubieran podido darse por contentos. Pero no fue así, y su mérito está en que observaron también el espectro del segundo objeto. Una vez comprobado que eran idénticos, el descubrimiento fue un hecho.

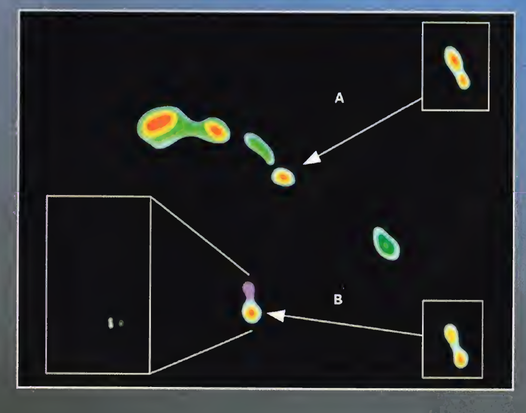
El tiempo transcurrido desde el primer descubrimiento permitía también registrar la variabilidad de la fuente y el retraso temporal entre las dos imágenes. El valor más probable para la constante H_0 es de 60 km s^{-1} Mpc^{-1}, pero el cálculo depende en gran medida del modelo de lente utilizado.

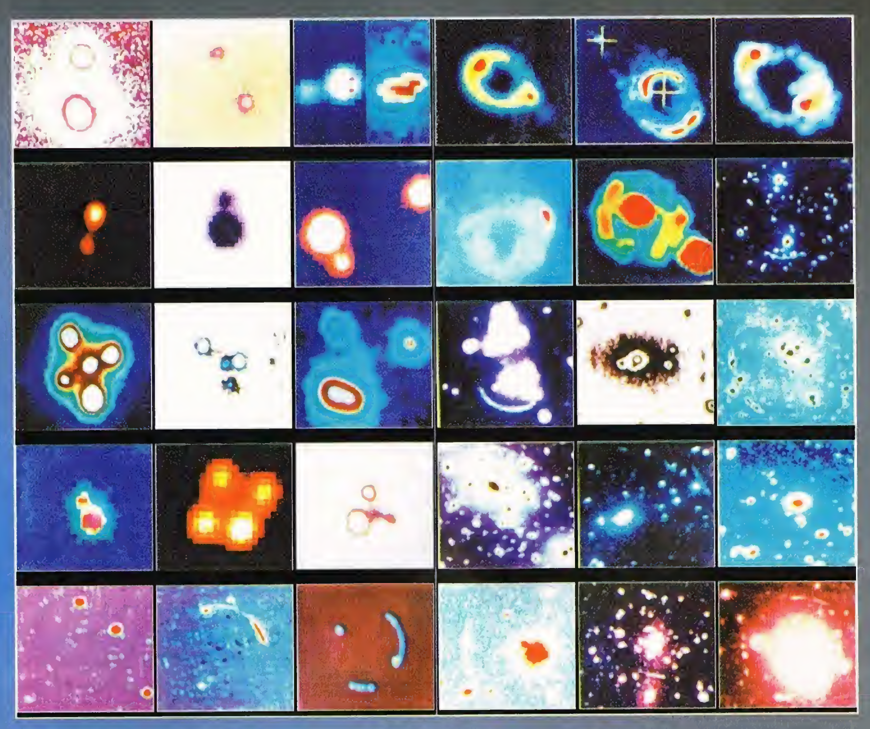
Se han recogido imágenes múltiples de otros cuásares, y ahora, con el auxilio de la gran resolución que permite el telescopio espacial, incluso de objetos extensos como las galaxias primordiales. En este caso, las lentes gravitatorias han demostrado ser un instrumento insustituible para el estudio de la evolución galáctica en sus fases iniciales.

VISIÓN MALA

Ahora son muchos los casos de imágenes de galaxias lejanas ampliadas por el potencial gravitatorio de los cúmulos de galaxias. Estos últimos son conglomerados que acogen 10^{15} masas solares en forma de galaxias luminosas y de materia oscura. Las galaxias que están detrás de los cúmulos en la línea de visión tienen una buena probabilidad de ser la fuente de un conjunto fuente-lente-observador, donde los telescopios terrestres tienen siempre el último papel. La geometría de los «arcos gravitatorios», al principio una curiosidad, permite hoy reconstruir la distribución de la masa en el interior del cúmulo y constituye una prueba importante de la presencia de materia oscura en el halo de los cúmulos de galaxias. A menudo, en el campo de un cúmulo hay diversos arcos que son imágenes múltiples de una galaxia de

El primer caso de lente gravitatoria fue descubierto en 1979 por el astrónomo J. Walsh y sus colaboradores. Se trata del cuásar QSO0957+561 a una distancia equivalente a un redshift z = 1,41. Como en muchos cuásares desdoblados o múltiples, su imagen deformada se ha visto tanto en la banda óptica como en radio. La mejor resolución que permite la radioastronomía ha producido la imagen de abajo, en la que, además del doble cuásar (A y B), se aprecian los jets de emisión desdoblados dos veces por la lente gravitatoria.





fondo. Excepcionalmente se ha podido observar también la estructura en disco de las galaxias fuente.

VISIÓN REDONDEADA

El perfecto alineamiento de la terna que interviene en una lente gravitatoria es un acontecimiento raro. Sin embargo, los casos de anillos de Einstein no son raros. En el campo de las observaciones radio se han detectado estas coincidencias. Las radiogalaxias emiten ondas radio que muchas veces adquieren la forma de dos lóbulos extremadamente luminosos que se separan de la galaxia central y se unen a ella mediante estrechos canales en los que circula muy rápidamente la materia que alimenta los lóbulos. Precisamente las imágenes de estos lóbulos y de los chorros (*jets*, en inglés) son distorsionadas por galaxias situadas casi perfectamente en la línea de visión. Mientras que las galaxias se observan muy bien con los telescopios ópticos –que, por el contrario, no ven ni los jets ni los lóbulos–, en las imágenes radio sólo son bien visibles estos últimos. Y, cuando el alineamiento es favorable, uno de los dos lóbulos se transforma en un anillo de Einstein (casi) exacto.

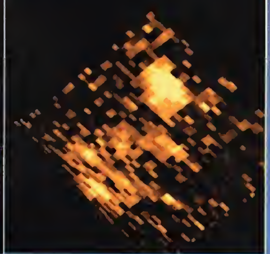
VISIÓN CON NIEVE

Lo mismo que nuestra turbulenta atmósfera modifica en unas pocas décimas de segundo de arco la dirección de la luz de los astros, provocando el famoso centelleo de las estrellas, también los pequeños cuerpos, como los planetas, que no emiten luz propia, pueden provocar un parpadeo al pasar por delante de una fuente luminosa, visible en forma de aumento temporal de la luminosidad de la estrella lejana (al igual que el efecto nieve que aparece en un televisor cuando una perturbación ilumina un instante puntos aleatorios de la pantalla). Este fenómeno, expresado con la voz inglesa *microlensing*, es también un ejemplo de lente gravitatoria provocada por pequeños cuerpos masivos y compactos, pero no luminosos. Estos cuerpos, que se conocen con las siglas MACHO (acrónimo de «cuerpos masivos y compactos del halo de nuestra Galaxia»), son objeto de una intensa

Arriba, una serie de imágenes de lentes gravitatorias, algunas de las cuales son ciertas, mientras que otras se están verificando. En unos casos, las imágenes son dobles; en otros, múltiples. Hay también algunas cruces de Einstein, con cuatro imágenes falsas dispuestas alrededor de la imagen real del objeto.





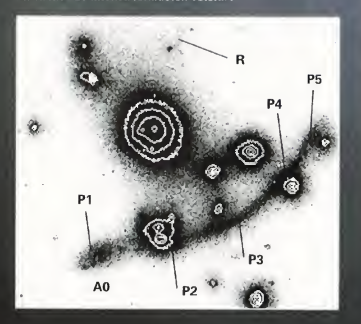


búsqueda por parte de diversos investigadores por su condición de candidatos a la formación de la materia oscura.

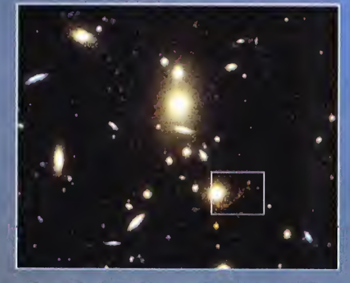
VISIÓN EN NEGRO

También los agujeros negros son candidatos privilegiados a ser lentes gravitatorias. Su gravedad es extremadamente intensa y por sí mismos no emiten ningún tipo de luz. Por eso, pueden deflectar tanto la luz, que no son imposibles ángulos de 90, 180 y hasta 360 grados. Esto permite ver nuestra propia luz reenviada detrás del agujero negro después de haber girado a su alrededor. Además, el rayo de luz puede efectuar algunos giros y luego volver hacia nosotros, sus emisores. Muchos agujeros negros están rodeados por un disco de materia arrebatada al medio interestelar o a otras estrellas, y que, después de haber orbitado vertiginosa y rapidísimamente a su alrededor, cae en el agujero negro emitiendo una cantidad enorme de energía observable en rayos X. Si fuese posible ampliar la imagen de un tal sistema hasta ver los detalles, quedaríamos impresionados por el hecho de poder ver simultáneamente las dos caras del disco gracias a la deflexión gravitatoria de los rayos de luz.

La configuración característica de un cúmulo de galaxias que puede actuar como lente gravitatoria viene dada por la presencia de imágenes deformadas en forma de arco. En esta imagen, procesada con ordenador, se ve la estructura de un arco en el cúmulo A370 con sus puntos más luminosos: ¿efectos deformantes de la lente gravitatoria o verdaderas imágenes del objeto, lejanísimo, en su fase de intensa formación estelar?

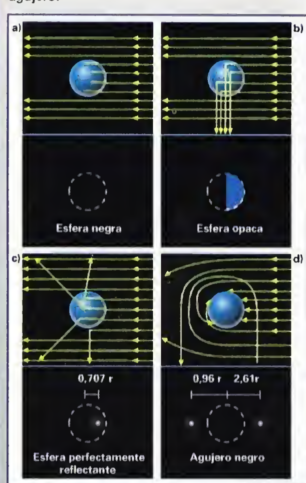


La galaxia con la mayor distancia comprobada a la Tierra es el objeto de arriba, visualizado por el telescopio espacial Hubble y ampliado por el efecto gravitatorio del cúmulo Cl1358+62. Su redshift de 4,92 la sitúa en el primer lugar de la clasificación (julio de 1997), con una distancia tal que posiciona la galaxia en un tiempo igual solamente al 10% de la edad global del universo y, por tanto, a una distancia de 13.000 millones de años luz de nosotros. Arriba a la derecha, imágenes ampliadas por ordenador de los nódulos donde se están formando las primeras estrellas de nuestro universo. A la derecha, el cúmulo Cl1358+62. El recuadro indica la zona del cúmulo que contiene los nódulos mostrados con detalle por las ampliaciones.



LA LUZ REFLEJADA

La luz que nosotros vemos en los cuerpos celestes suele ser luz emitida directamente. En algunos casos, hemos de contentarnos con observar luz reflejada de alguna manera por los cuerpos celestes. El modo en que una esfera puede «reflejar» la luz emitida por una fuente situada en su lado derecho (en la figura, los rayos llegan de la derecha; abajo, nosotros estamos observando) depende de la naturaleza de tal esfera: a) si es verdaderamente negra, absorbe toda la luz y no reemite nada, como si fuese una esfera recubierta de polvo de carbón que quisiéramos ver sobre el fondo de un cielo negro; en este caso, la esfera es invisible; b) normalmente, estamos en presencia de esferas opacas, pero no negras, como cuando observamos la Luna o los planetas: en este caso, la cara iluminada reemite la luz en todas direcciones, y puede verse una parte iluminada y otra no; si nos encontramos a 90 grados de la fuente luminosa, vemos este «cuarto de luna»; c) si la esfera es perfectamente reflectante y los rayos iluminadores llegan paralelos, sólo uno de estos rayos será enviado exactamente a 90 grados de donde nosotros observamos: por tanto, la imagen será un puntito luminoso; d) en el caso de un agujero negro, ningún rayo que llegue a él será jamás reemitido, y nosotros sólo podremos ver los rayos que, no habiendo chocado con el agujero negro, son deflectados exactamente a 90 grados de su campo gravitatorio; por eso, veremos dos puntitos luminosos, a derecha e izquierda. El retorno de luz, que ocurre cuando nosotros mismos iluminamos el agujero negro, es una figura en círculo alrededor de la negrura del agujero.



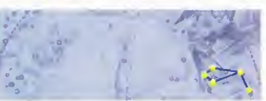
VISIÓN, PREVISIÓN, TRASVISIÓN...

Los numerosos estudios que se están haciendo para llegar a conocer los componentes y la localización en el espacio de la materia oscura, están encaminados sobre todo a la utilización de las lentes gravitatorias, no sólo para ver la materia oscura, sino también para observar sus efectos, ya que ella, como todos los tipos de materia, curva el espacio-tiempo y altera sus propiedades. Cuando la luz emitida por otra fuente pasa por esta región alterada, podemos ver la presencia de materia oscura. Lejos de perturbar nuestra visión perfecta, las lentes gravitatorias ayudarán a ver lo invisible.

Los astrónomos se están esforzando para hacer una catalogación sistemática de las lentes gravitatorias comprobadas. Esto permite definir la densidad de objetos en nuestro universo y fijar algunas propiedades estadísticas. La lista más reciente es la que han confeccionado los astrónomos belgas Anna y Jean Surdej.

HIDRA AUSTRAL-TUCÁN





Las constelaciones de la Hidra Austral y el Tucán, no visibles desde latitudes medias, fueron introducidas después del comienzo de la era de los grandes viajes marítimos.

Las constelaciones de la Hidra Austral y del Tucán fueron introducidas por Johann Bayer en 1603.



En los firmamentos meridionales brillan dos constelaciones introducidas a principios del siglo XVII: la Hidra Austral y el Tucán. La primera recuerda la constelación más extensa de la Hidra en el ecuador celeste, mientras que la segunda representa el ave tropical de voluminoso pico.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

Las tres estrellas más luminosas de la constelación de la Hidra Austral forman un triángulo situado a occidente de la constelación de la Mesa. El Tucán está a occidente de la Hidra Austral y limita con el Fénix y la Grulla al norte, y con el Indio al oeste. Recuérdese que el norte está en lo alto, el este a la izquierda y el oeste a la derecha.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Aunque con poca diferencia, la estrella más luminosa de la constelación de la Hidra Austral es Beta, de magnitud 2,8, mientras que Alfa es de magnitud 2,9. Aparte de estas características, ambos astros, el primero de luz amarilla y el segundo de luz blanca, no presentan mayores atractivos. Distan de la Tierra 21 y 47 años luz respectivamente.

Gamma (magnitud 3,2) es la tercera estrella del triángulo y constituye la estructura principal de esta constelación. El astro más brillante del Tucán es Alfa (magnitud 2,9), una estrella de color anaranjado a 130 años luz de la Tierra.



La Pequeña Nube de Magallanes es un sistema estelar satélite de nuestra Galaxia. Observable a simple vista, dista de la Tierra más de 200.000 años luz. Es una de las dos joyas de la constelación del Tucán.

Un interesante complejo de estrellas es el de Beta, formado por un par (Beta 1 y Beta 2, de magnitudes 4,4 y 4,5) unido físicamente por su recíproca atracción gravitatoria y fácilmente separable con prismáticos. Una tercera componente (Beta 3, magnitud 5,1) está próxima sólo por efecto de perspectiva, a sólo 67 años luz, mientras que las otras dos están a 110 años luz.

OTROS OBJETOS DE LAS CONSTELACIONES

Mientras que la constelación de la Hidra Austral no contiene objetos especialmente destacables, Tucán cuenta con dos maravillas de la bóveda celeste: la Pequeña Nube de Magallanes y un cúmulo globular observable a simple vista, conocido como 47 Tucanae.

La primera es una de las dos galaxias satélite de la nuestra; la otra es la Gran Nube de Magallanes, en la constelación del Dorado. Está a una distancia de 230.000 años luz. A simple vista, aparece como una mancha luminosa con un diámetro aproximado de 3,5°. La forma de esta nebulosa es irregular, y, a medida que se observa con instrumentos de diámetro progresivamente mayor, se ven cada vez más detalles, tales como cúmulos y nebulosas.

En cambio, 47 Tucanae es un objeto mucho más próximo, a sólo 20.000 años luz; se trata, por lo tanto, de un cúmulo perteneciente a la Vía Láctea. Se nos presenta como una estrella desenfocada de cuarta magnitud. NGC 362 es un cúmulo globular próximo a la Pequeña Nube de Magallanes, y es un objeto de séptima magnitud situado a unos 40.000 años luz.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

HIDRA AUSTRAL-TUCÁN

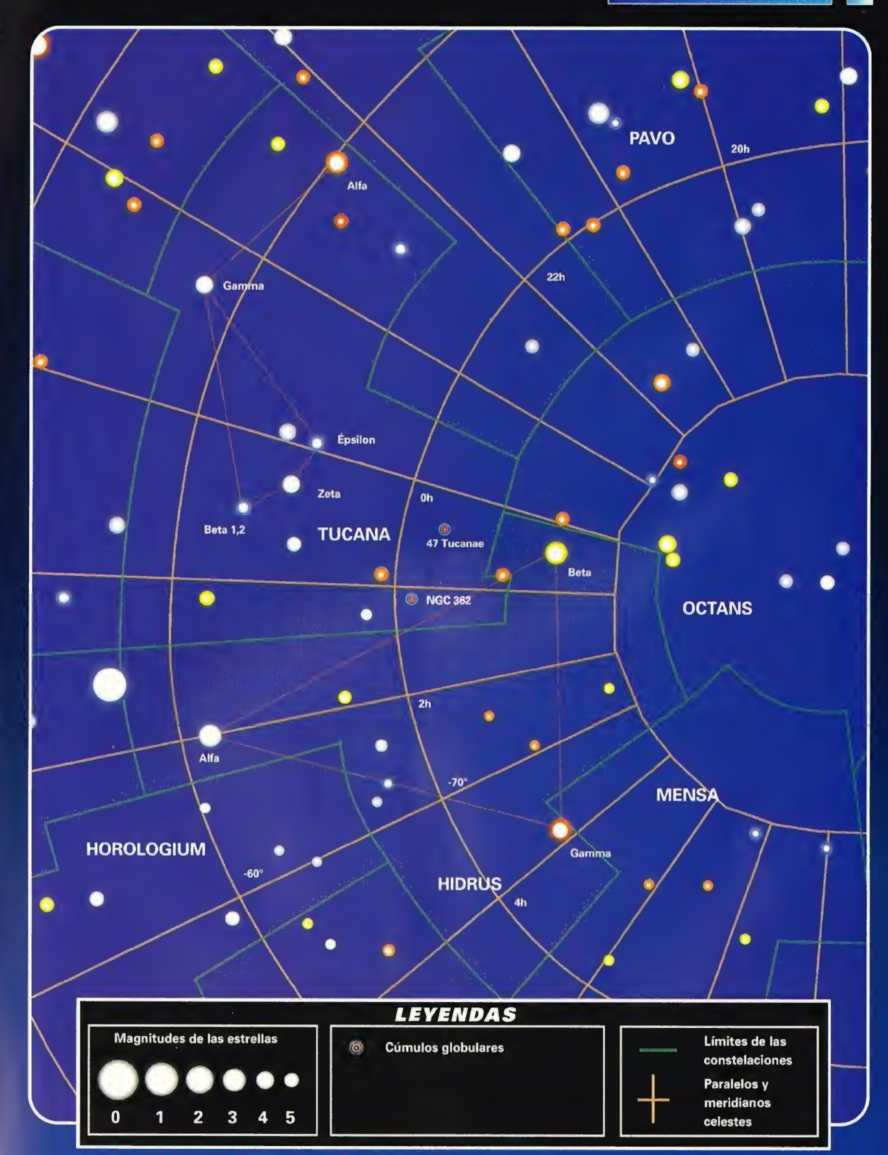
La génesis, relativamente reciente, de las constelaciones de la Hidra Austral y del Tucán ha impedido asociarlas a leyendas de origen antiguo. Probablemente, la primera nació como contrapartida de la constelación de la Hidra, situada en el ecuador celeste. El Tucán, en cambio, fue introducido para inmortalizar la curiosa ave de gran pico.



DÓNDE BUSCARLAS

HIDRA AUSTRAL-TUCÁN

El paso en oposición al Sol de las constelaciones de la Hidra Austral y del Tucán ocurre durante un período de tiempo prolongado, entre finales de agosto y finales de noviembre, cuando se extienden totalmente durante más de seis horas en ascensión recta. Sin embargo, como no se separan más de unos treinta grados del polo sur celeste, su posición en el firmamento no cambia de manera espectacular, a menos que se observen desde regiones próximas al ecuador. La Hidra Austral abarca una región del cielo comprendida entre las 0 horas y las 4 horas 35 minutos de ascensión recta, y entre –58 y –82° de declinación. El Tucán está limitado entre las 22 horas 5 minutos y la 1 hora 25 minutos de ascensión recta, y entre –57 y –75° de declinación.


PAVO
20h
Alfa
22h
Gamma
Épsilon
Zeta
0h
Beta 1,2
TUCANA
47 Tucanae
Beta
NGC 362
OCTANS
2h
Alfa
-70°
MENSA
Gamma
HOROLOGIUM
-60°
HIDRUS
4h
LEYENDAS
Magnitudes de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

APOLLO 13



Éste era el emblema de la accidentada misión del Apollo 13.

La misión Apollo 13 comenzó a las 13.13 horas del 11 de abril de 1970. Pocos minutos después del despegue, una pequeña vibración advirtió a la tripulación que la segunda fase se había apagado con dos minutos de anticipación. Un primer inconveniente fácilmente superado, seguido de un incidente mucho peor que obligó a modificar con urgencia las operaciones de retorno del Apollo 13 a la Tierra.



En la cápsula resonó una seca detonación que no tuvo consecuencias después de proceder al aislamiento del módulo de servicio. Los cohetes de ajuste empezaron a funcionar intensamente para mantener la posición correcta marcada por el piloto automático.

La astronave hizo algunas piruetas durante unos instantes y luego se estabilizó suavemente. Ninguno de los tres astronautas a bordo del Apollo 13 percibió lo que había ocurrido. Aquella misión tenía por objeto alunizar en las cercanías de unos montículos lunares llamados Fra Mauro.

Los geólogos consideraban que los astronautas podían encontrar rocas diferentes de las que habían llevado a la Tierra las tripulaciones del Apollo 11 y el Apollo 12.

James Lowell, comandante de la tripulación, y sus dos compañeros de vuelo debían llevar a la Tierra las pruebas que validaran aquella hipótesis.

Sus dos compañeros de viaje eran dos civiles con un pasado aeronáutico.

Fred Haise, comandante del módulo lunar, era piloto naval antes de ser piloto autorizado por la NASA, mientras que Jack Swigert había sido oficial de la Fuerza Aérea de Estados Unidos antes de trabajar para la North American y la Pratt & Whitney. Swigert tenía la misión de pilotar el módulo de mando. En teoría, no debería haber estado a bordo para tal misión, ya que lo hizo como sustituto de Mattingly, que no pudo participar en ella a causa de una sospecha de sarampión sólo dos días antes del lanzamiento.

Los tres astronautas partieron de Cabo Kennedy el 11 de abril de 1970, exactamente a las 13.13 horas.

La trayectoria inicial hacia la Luna era del tipo «de retorno libre»; en el caso de que el motor del módulo de mando no se encendiera, después de haber circundado la Luna, los hombres hubieran podido hacer su reentrada en la Tierra sólo con la ayuda de los pequeños motores-cohete del control de ajuste.

Treinta horas después del despegue, la trayectoria fue corregida.

La nueva ruta trazada hubiera permitido llegar a la Luna a una hora más apropiada para un alunizaje seguro, es decir, cuando las condiciones de iluminación solar hubieran incrementado las sombras de los relieves.

Pero la nueva trayectoria no era la que se consideraba segura al 100%: ciertamente, hubiera devuelto a los astronautas a la Tierra, pero a una distancia de 2.500 millas del punto previsto para el amaraje.

Era demasiado para un retorno con éxito a la Tierra, pero el cambio no creó problemas a los astronautas, que aceptaron bien las modificaciones del plan de vuelo.



De izquierda a derecha, Fred W. Haise Jr., James A. Lowell y Jack Swigert. Éste sustituyó en el último momento a otro astronauta, Mattingly, que dos días antes del lanzamiento cayó enfermo.

Fotografía del Apollo 13 en su rampa, en los momentos anteriores al lanzamiento. Era abril de 1970.

La maniobra había sido probada por otras tripulaciones y la cápsula Apollo 13 funcionaba perfectamente.

Unas 54 horas después del despegue, Swigert había controlado el módulo de servicio, mientras que Lowell y Haise habían inspeccionado el módulo lunar, el Aquarius.

La televisión hizo algunas tomas que mostraban las inspecciones, un programa nunca propuesto a las cadenas de televisión, ya que el gran público había perdido totalmente el interés por las misiones espaciales.

EL GRAN «BANG»

Apenas ultimadas estas operaciones, cuando Lowell estaba a punto de volver a entrar en el módulo de servicio, el Odissea, se oyó una explosión y en el cuadro de control se encendió una luz roja.

Indicaba que había tenido lugar una pérdida de potencia en el compartimiento eléctrico principal del módulo de servicio.

Casi al mismo tiempo, se encendieron otras dos luces: dos de las tres celdas de combustible habían quedado inutilizadas. Las células de combustible empleaban oxígeno e hidrógeno líquidos para producir energía eléctrica y agua: eran la principal fuente de energía del Apollo.

Una sola célula habría bastado para girar alrededor de la Luna y para la reentrada, pero para llevar a cabo el alunizaje eran necesarias las tres.

Lowell, desde el centro del habitáculo, examinó todos los instrumentos, especialmente los que controlaban la cantidad de oxígeno existente en los depósitos. Uno de los dos indicadores estaba a cero y el otro se aproximaba rápidamente a este límite fatídico.

Echó una mirada fuera de la ventanilla y el flujo gaseoso que veía salir a alta velocidad de la parte posterior de la cápsula confirmó sus preocupaciones: al cabo de poco tiempo estarían sin oxígeno.

Cuando esto ocurriera, también su tercera célula de combustible se apagaría, con la pérdida de toda la energía eléctrica.

Abajo, los tres astronautas durante una conferencia de prensa antes de su partida. Vivieron la más dramática misión espacial a la Luna. A pesar de no haber tenido éxito, el viaje fue una victoria del ingenio humano, ya que se dieron soluciones a los muchos problemas que surgieron después de la explosión, inimaginables antes de la partida.





El Apollo 13 partió del Kennedy Space Center, de Cabo Cañaveral, el 11 de abril de 1970, a las 13 horas y 13 minutos, unos números que dieron que pensar a los supersticiosos. Después de los dos vuelos lunares anteriores, Apollo 11 y 12, esta misión se inició con la sordina puesta. El vuelo sólo había ocupado las páginas interiores de los principales rotativos, con títulos así: «Demasiado perfecto. La gente se aburre». Pero después de la frase fatídica: «Houston, tenemos un problema», la misión volvió a las primeras páginas de los periódicos y en grandes titulares.

En aquellas condiciones también el sistema de propulsión quedaría inutilizado, ya que la suspensión del motor estaba controlada eléctricamente.

Dentro del Odissea había una pequeña batería y un depósito de oxígeno que deberían usar en la fase de reentrada, después de la separación del módulo de servicio. Pero ambos dispositivos estaban previstos para un funcionamiento de sólo cinco horas.

En el momento de la explosión, los astronautas estaban a 200.000 millas de la Tierra y faltaban 90 horas para la reentrada.

Haise llamó al centro de control de Houston: «¡Atención! ¡Tenemos un problema!».

HOUSTON: «Apollo 13, habla Houston. Repite, por favor».

APOLLO 13: «Houston, tenemos un problema. Hay una caída de energía eléctrica y hemos oído un "bang" muy fuerte seguido del encendido de las luces piloto de peligro».

Comenzaba de este modo el accidentado viaje de retorno a la Tierra del Apollo 13, que duró cuatro días.

Muy pronto, en el módulo de mando la situación se hizo crítica.

Los astronautas podían observar cómo continuaba disminuyendo la presión del oxígeno en el único depósito disponible, y sabían que, una vez vaciado, ya no funcionarían ni los aparatos eléctricos ni los servicios de propulsión ni el control ambiental.

HOUSTON: «Parece que tenéis 15 minutos de energía en el módulo de mando. Queremos que paséis al módulo lunar y toméis la energía eléctrica de allí».

El centro de control no había aconsejado ninguna urgencia respecto al traslado, pero todavía no había terminado el mensaje cuando Lowell y Haise estaban ya en el túnel que los llevaría al Aquarius.

AQUARIUS SE CONVIERTE EN UN BOTE SALVAVIDAS

Los astronautas comprendieron inmediatamente que su única posibilidad de supervivencia era convertir el Aquarius en un bote salvavidas que debían utilizar para volver a casa.

La primera maniobra fue crítica.

Tenían que transferir el alineamiento del sistema de guía inercial del Odissea al Aquarius antes de que faltase la energía eléctrica.

El sistema de guía, acoplado a los ordenadores, daba informaciones de ajuste respecto a la esfera celeste, además de la posición en el espacio y de los vectores de velocidad. Estas informaciones eran de vital importancia para eventuales correcciones de ruta. Apenas tuvieron tiempo de efectuar la maniobra. La trayectoria que recorrían los habría llevado alrededor de la Luna, pero no a la Tierra.

Por eso, la primera preocupación fue dar al vehículo espacial una trayectoria de retorno libre. Todos los sistemas a bordo del Aquarius eran operativos, y su motor de descenso estaba listo para funcionar.

La explosión se produjo en el módulo de servicio; más exactamente, en uno de los depósitos de oxígeno, unos robustos contenedores de aleación de acero y níquel, con una capacidad de 145 kg cada uno. Los tres depósitos alimentaban otras tantas pilas de combustible. Gracias a un proceso químico, la pila de combustible produce energía eléctrica, necesaria para el funcionamiento de los aparatos del módulo de mando, y también agua.

La solución obvia era acelerar al máximo la reentrada. La ruta que seguían les habría llevado a amarar en el océano Índico, pero tardarían, desde el momento del despegue, 150 horas. ¡Demasiadas!

El control de misión tuvo una idea: tendrían que encender el motor del Aquarius por segunda vez dos horas después de haber circunvalado la Luna.

Sería un encendido bastante largo, pero quizá aumentaría la velocidad, permitiendo el amaraje del Apollo 13 antes de que no quedase a bordo nada que consumir. El amaraje tendría lugar en el Pacífico.

Mientras Houston iniciaba las operaciones destinadas a efectuar la maniobra sugerida, la tripulación de sustitución ocupaba sus puestos en el simulador para probarla.

No tenían mucho tiempo: la Luna estaba a menos de 65.000 kilómetros y la velocidad de aproximación a ella era cada vez mayor.

Abajo, el boquete que se produjo en la sección 4 del módulo de servicio del Apollo 13. La imagen fue tomada por los astronautas desde la cápsula misma del Apollo después de haberse desenganchado el compartimiento. Es el único testimonio del drama que estuvo a punto de costar la vida a los tres hombres de la tripulación. Las diferentes chapas tenían un espesor de 23 mm y eran de aleación de acero y titanio.

Sesenta y una horas y media después del lanzamiento, se encendió durante unos 30 segundos el motor del Aquarius.

APOLLO 13: «¡De acuerdo, Houston...! Hemos hecho el encendido. Ahora debemos discutir las causas de la caída de energía».

El problema que preocupaba a Lowell y a sus compañeros de viaje eran las baterías del módulo lunar.

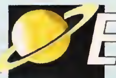
Se habían diseñado para funcionar 45 horas y se necesitaban todavía unas 90 para regresar a casa.

¿Tendrían bastante energía para el retorno? Un cálculo rápido indicó que quedarían privados de energía poco tiempo antes de la reentrada en la atmósfera. Además, disponían de poca agua para enfriar los sistemas eléctricos.



OJOS NUEVOS EN EL CIELO

A pesar de la caída del muro de Berlín y del final de la «guerra fría», el control mutuo entre las superpotencias no ha terminado. Satélites espía cada vez más sofisticados, capaces de observar elementos de la Tierra no mayores de unos centímetros, continúan construyéndose y lanzándose por parte tanto de los estadounidenses como de los rusos y de muchos otros países. Han podido vislumbrarse algunas características de los satélites espía estadounidenses gracias a filtraciones sobre ciertos elementos.

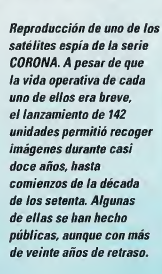


El cohete Titán, lanzado el 20 de diciembre de 1996 desde la base militar estadounidense de Vandenberg, en California, llevaba una carga muy especial. Tenía un objetivo único y muy bien definido: poner en órbita terrestre satélites espía capaces de recoger informaciones secretas.

Se trata de satélites cuya importancia y complejidad pueden deducirse, en primer lugar, de su coste: 800 millones de dólares cada uno, un precio superior al de un bombardero B-2.

Pero, a diferencia de la mayor parte de los aviones militares, cuyo uso se prolonga en el tiempo durante varias decenas de años, un satélite espía sólo está en perfectas condiciones operativas durante cinco años. No obstante, tienen tanta importancia, que Estados Unidos todavía considera válido este enorme gasto, sobre todo si se tiene en cuenta que el Pentágono gasta más de mil millones de dólares anuales únicamente en el mantenimiento de su flota de unos veinte satélites de espionaje.

Sin embargo, durante mucho tiempo, el secreto en torno a los satélites espía ha suscitado un estado de alerta que ha transformado su existencia en algo absolutamente misterioso: se sabía que estaban en órbita y trabajaban, pero nadie debía o quería hablar de ellos. En cambio, ahora, la NRO (National Reconnaissance Office) tiene incluso su página en Internet.





Reproducción de uno de los satélites espía de la serie CORONA. A pesar de que la vida operativa de cada uno de ellos era breve, el lanzamiento de 142 unidades permitió recoger imágenes durante casi doce años, hasta comienzos de la década de los setenta. Algunas de ellas se han hecho públicas, aunque con más de veinte años de retraso.



A la izquierda, un KH-4 CORONA, el primer satélite espía estadounidense lanzado. En su interior había cápsulas que recogían las imágenes durante las órbitas alrededor de nuestro planeta, después de lo cual eran expulsadas y lanzadas a la Tierra. Un avión militar las recogía mientras estaban todavía en el aire. Entre 1960 y 1972, los CORONA tomaron casi 800.000 fotografías. Las características de esta serie de satélites y sus programas se hicieron públicos en 1995.

Obviamente, lo que los satélites espía han observado y descubierto en los veinticinco últimos años sigue siendo casi totalmente secreto, a pesar de que algo se ha divulgado, sobre todo por parte de los estadounidenses.

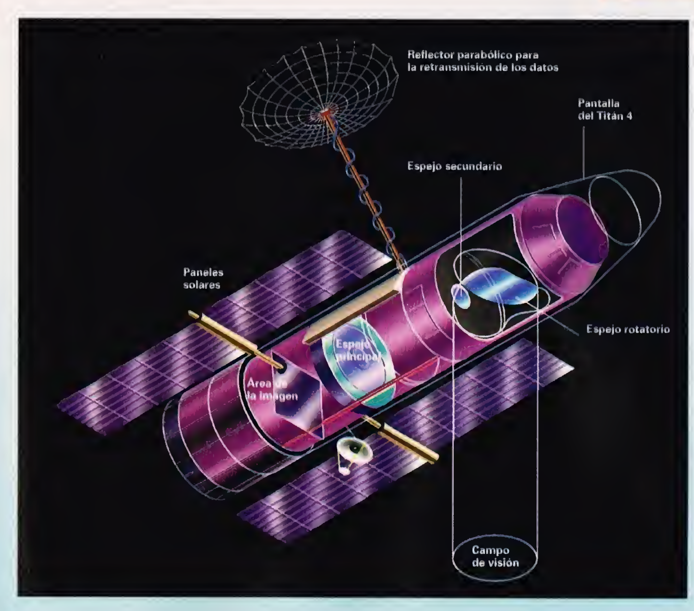
El mundo entero sabe la riqueza de detalles importantes que pueden tener las imágenes tomadas desde un satélite de reconocimiento.

Para comprender esta capacidad, se recuerda siempre la anécdota siguiente:

En 1984, Samuel Morison, un analista de los servicios secretos de la marina militar de Estados Unidos, proporcionó al periódico *Jane's Defence Review* algunas fotografías tomadas desde un satélite, en las cuales se veía el primer portaaviones soviético alimentado con energía nuclear. Aquellas imágenes tenían tanta resolución y definición, que incluso podían distinguirse cada uno de los vehículos, así como los técnicos que se encontraban en el astillero.

A causa del secreto que rodea los satélites espía, son muy pocas las personas que conocen el aspecto o el modo de funcionamiento de estos «ojos espaciales».

Pero, por otra parte, los contribuyentes estadounidenses están cada vez más deseosos de conocer cómo se gasta su dinero en este sector. Para satisfacer sus exigencias, John Pike, consultor político, y Charles Vick, ingeniero y diseñador industrial, están trabajando para la Federation of American Scientists



En 1976, los estadounidenses lanzaron por primera vez un KH-11 KENNAN. Fue el primer satélite espía que envió a la Tierra imágenes fotográficas en tiempo real. Después de haber tomado las imágenes de las zonas-objetivo, estos satélites enviaban las señales codificadas a los satélites de telecomunicaciones, los cuales, haciendo de puente, las retransmitían a su vez a los centros militares de control.

–un grupo de científicos que ha manifestado en diversas ocasiones su perplejidad en cuanto a los métodos secretos utilizados por el Pentágono– con el fin de crear una formidable base de datos con informaciones sobre los satélites secretos de la NRO y permitir que la gente corriente conozca algo más concreto sobre tales satélites.

Pike y Vick han utilizado todos los conocimientos que eran y son aprovechables para trazar un cuadro del programa de los satélites espía a partir de varias fuentes públicas. Por ejemplo, basándose en los informes de las empresas implicadas en la construcción y en las cuentas del Pentágono, ha sido posible deducir las enormes cantidades de dinero que se han gastado en estos vehículos espaciales.

Además, algunas veces, las empresas que trabajan en tales vehículos adaptan sus componentes (desde los paneles solares hasta los espejos de los aparatos fotográficos) a programas militares no protegidos por el secreto inherente a los satélites comerciales, lo cual permite llegar hasta elementos importantes.

También el estudio del apantallado, es decir, el revestimiento que protege el vehículo espacial mientras asciende a través de la atmósfera, permite conocer algo sobre el satélite espía, ya que este revestimiento varía de dimensiones y de forma según lo que contiene.

Otro modo de descubrir nuevos indicios sobre el uso de los satélites espía es la trayectoria de lanzamiento de los cohetes. La trayectoria revela la órbita del correspondiente satélite y, por tanto, su probable función, mientras que la frecuencia de los lanzamientos indica la mayor o menor rapidez con que se reemplazan los satélites.

ÓRBITAS BAJAS

Los satélites que se encuentran en una órbita baja son visibles con sencillos telescopios y, por consiguiente, si se dispone de un equipo no profesional pero de alta calidad, es posible clasificarlos según su brillo y su color.

Cambios en la órbita pueden significar que el objetivo del satélite se ha modificado.

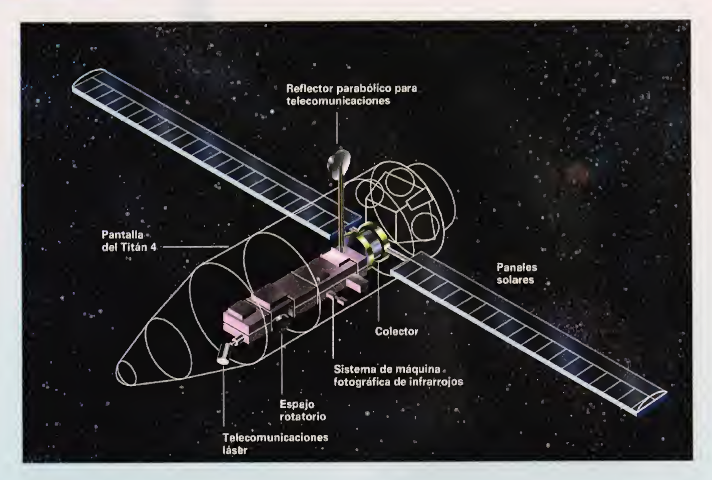
Además, con los telescopios profesionales es posible captar imágenes que permiten conocer con bastante claridad las dimensiones de una cápsula orbitante y el esquema de sus principales componentes.

Sin embargo, la mayor parte de estos telescopios son propiedad de organizaciones que tienen algún vínculo con el gobierno, y hasta el momento presente ninguna de ellas se ha mostrado dispuesta a asumir el riesgo de enfrentarse a las autoridades publicando la imagen de un satélite espía.

SON POCOS LOS SATÉLITES ESPÍA NO SECRETOS

Son muy pocos los satélites espía, ni aun los más obsoletos, sobre los cuales se ha tenido alguna

Los satélites NOSS (Navy Ocean Surveillance System), como el TRIPLET, son lanzados por la marina militar estadounidense en grupos de tres. Su misión es definir la posición de fuentes militares enemigas a través del estudio de las señales emitidas. Tres satélites están en condiciones de definir con una gran precisión las coordenadas de una fuente de señales electrónicas.



información oficial. Uno de ellos es el KH-4 CORONA, pionero de los satélites de reconocimiento, del cual se publicaron algunas imágenes tomadas desde el espacio. La vida de cada uno de estos satélites era muy breve y por este motivo se lanzaron 142. Después, el proyecto se dio por concluido.

Pero si lo que ocurrió en los años sesenta y setenta es bastante conocido, ahora interesa comprender cuál es la situación actual, al menos por la parte estadounidense, que es la más seguida.

Parece ser que los satélites de la última generación, llamados AFP-731, se producen con una gran lentitud. Esto indicaría que cada satélite espía se construye con una misión muy precisa, de tal manera que ninguno es idéntico a sus predecesores ni en elementos ni en prestaciones.

Se cree que muchos satélites son ya capaces de «ver» objetos muy pequeños, incluso a la luz de la Luna o de las estrellas, gracias a la técnica CCD.

Por una parte, si ciertos satélites espía tienen todavía la misión de «observar» lo que hay debajo de ellos durante el día, otros, en cambio, han sido pensados para «ver» en las noches más oscuras o, incluso, a través de las nubes.

Uno de estos satélites se conoce con el nombre codificado de Lacrosse, y fue diseñado para ser puesto en órbita terrestre por un transbordador. Estaba dotado de una gran antena para radar de apertura sintética, como la que llevan los satélites ambientales tipo ERS.

Actualmente están en órbita dos Lacrosse: el primero de ellos fue lanzado desde un transbordador en 1988; el segundo, por un Titán a principios de 1991.

Al menos uno de los dos debería estar todavía en actividad, y parece ser que ha sido utilizado para detectar cráteres provocados por los ataques de los misiles Cruise lanzados contra Iraq en 1996.

Se supone que actualmente se están construyendo nuevos satélites-radar espía con antenas mucho más potentes.

La NRO también ha puesto a punto y ha lanzado una serie de satélites que responden a las siglas SIGINT (SIGnals INTelligence). Aunque no son tan grandes ni tan espectaculares como los vehículos espaciales destinados a la toma de imágenes, estos satélites se construyen como detectores electrónicos de datos artificiales que atraviesan la atmósfera terrestre. Por tanto, pueden captar informaciones muy valiosas sobre las intenciones y los recursos de una potencia extranjera.

Los SIGINT son más pequeños que los que se emplean para la toma de imágenes, ya que se colocan en una órbita geoestacionaria, a unos 36.000 km sobre el ecuador, de manera que permanecen suspendidos sobre un punto único de la Tierra.

Conocidos con una larga serie de nombres codificados (entre ellos Jumpseat, Mentor y Magnum), los SIGINT son cada vez mayores, como resulta evidente de las dimensiones de los cohetes auxiliares necesarios para situarlos en órbita. Es más que probable que las últimas versiones sean las más grandes, ya que están dotadas de antenas muy voluminosas que permiten escuchar mejor las comunicaciones militares.

Los análisis dan a entender que la mayor parte de los satélites SIGINT están dotados de antenas muy especiales. Este tipo de antenas recuerda un paraguas de malla metálica, con la diferencia de que las varillas, cargadas con muelle, forman una espiral alrededor de su estructura central. Puede ocurrir que los SIGINT siguientes, como por ejemplo el Double Magnum, estén dotados de una nueva antena de unos 150 cm de diámetro. Es probable que el primer Double Magnum fuera lanzado en 1994.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL INTERIOR DE LA TIERRA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LOS ASTRÓNOMOS AFICIONADOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA LIEBRE

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

ATMÓSFERA Y ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LA SONDA MAGELLAN



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

60



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS
NOMBRE
CALLE O PLAZA
N.º PISO PUERTA ESC.
CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN
PROVINCIA EDAD
TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

N.º de tapas que solicita:

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

EL INTERIOR DE LA TIERRA



Pese a las reducidas dimensiones de nuestro planeta, los esfuerzos de los geólogos por conocer las características del interior de la Tierra son comparables a los de los astrofísicos por conocer las inmensidades del universo. Dadas las presiones y las temperaturas existentes, la exploración de estas regiones no puede ser sino indirecta.

Muchos fenómenos que se manifiestan en la superficie de la Tierra se originan en el interior del planeta.

Éste es el caso, por ejemplo, del vulcanismo, que lleva a la superficie los magmas procedentes de las profundidades de la Tierra; de las inmensas fuerzas capaces de producir deformaciones y metamorfosis en las rocas, y de los terremotos, testigos de las tensiones y las fuerzas que sufren las rocas de la corteza terrestre.

Estos fenómenos, en particular las erupciones volcánicas y los terremotos, no están distribuidos homogéneamente por la superficie terrestre. El hecho suscita ulteriores interrogantes sobre los mecanismos que operan en el interior del planeta.

Por otra parte, el interior de la Tierra no es accesible a una exploración directa. Pese a todos los esfuerzos técnicos realizados, las perforaciones de la corteza terrestre no han rebasado la decena de kilómetros de profundidad, muy poca cosa para un planeta con un diámetro que supera los 12.000 km.

Existe una ciencia, la geofísica, que estudia la estructura física y la naturaleza química del interior de la Tierra. Trataremos aquí de exponer sus ideas fundamentales.

Los geofísicos utilizan métodos indirectos de exploración derivados de estudios sobre los campos gravitacional y magnético, y sobre el flujo de calor procedente del interior de la Tierra, y del análisis de las ondas sísmicas.

Estas investigaciones han permitido obtener un modelo bastante detallado de la estructura del interior de la Tierra que nos muestra un planeta todavía muy vivo, en plena evolución, con una situación geológica bastante singular en el ámbito del sistema solar.

De todas maneras, todos los modelos de la estructura del interior terrestre, producto de los estudios gravimétricos, magnéticos y sísmicos, deben tener en cuenta los parámetros físicos generales que caracterizan nuestro planeta y que se pueden calcular con óptima precisión.

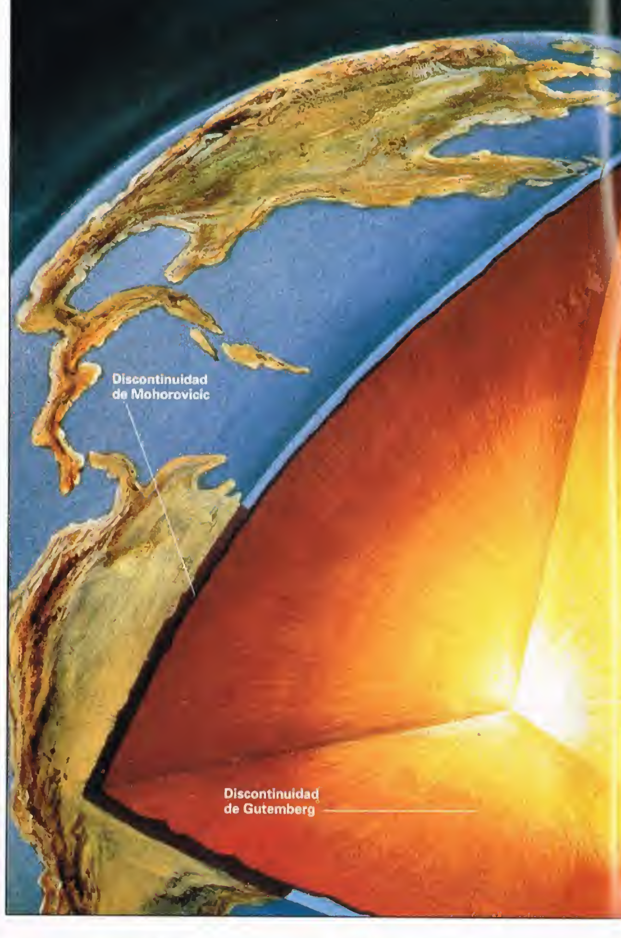
Masa terrestre: tiene un valor de $5{,}976 \times 10^{27}$ g. Este valor se obtiene mediante cálculos bastante simples basados en las leyes de Newton y en la determinación del valor de la constante de la gravitación universal (G) por medio del experimento de Cavendish (1798).

Volumen: se puede calcular con facilidad. Conociendo el radio medio de la Tierra, que es de 6.378 km, las fórmulas usuales de la geometría nos dan un valor de $1{,}087 \times 10^{12}$ km^3.

Densidad: del cociente entre la masa y el volumen se obtiene inmediatamente la densidad, que es igual a 5,523 g/cm^3.

La Tierra vista desde el espacio. Pese a las reducidas dimensiones de nuestro planeta (su diámetro ecuatorial es de 12.756 km), ignoramos muchas cosas sobre las características físicas y químicas de su interior. Debido a lo elevado de las temperaturas y las presiones, nuestro conocimiento sólo puede aumentar por vía indirecta.

División del interior de la Tierra en función de las características químicas de nuestro planeta. Del exterior al interior encontramos: la corteza, separada del manto por la discontinuidad de Mohorovicic; el manto, separado del núcleo por la discontinuidad de Gutemberg; el núcleo externo y el núcleo interno. Puede realizarse una ulterior subdivisión del interior terrestre a partir de sus características físicas. En tal caso hay un nivel superior sólido, llamado litosfera; otro inferior plástico, llamado astenosfera, que comienza entre los 80 y los 100 km, y otra vez los núcleos externo e interno.



El valor medio de la densidad de la Tierra plantea un problema inmediato. La densidad media de las rocas que se encuentran en la superficie terrestre es de aproximadamente 2,7, por lo que la densidad de las capas más internas tiene que ser mucho mayor.

LA ESTRUCTURA DEL INTERIOR DE LA TIERRA

Las ondas sísmicas son el instrumento fundamental para investigar la estructura del interior de la Tierra. Durante su recorrido desde el hipocentro del terremoto hasta las estaciones meteorológicas, estas ondas son refractadas y reflejadas de distintas formas.

Un análisis sistemático de los sismogramas registrados en cientos de estaciones de todo el mundo ha puesto de relieve que la estructura interna de la Tierra presenta discontinuidades, hasta el punto de que nos hemos habituado a pensar en la Tierra como formada por capas concéntricas.

LAS SUPERFICIES DE DISCONTINUIDAD

La primera prueba inequívoca de la existencia de una de estas superficies de discontinuidad la dio en 1909 el sismólogo yugoslavo A. Mohorovicic (1857-1936), el cual descubrió que las ondas P (las más rápidas) de la serie de sacudidas provocadas por el terremoto de Zagreb, ocurrido aquel año, estaban muy atenuadas en todos los sismogramas registrados a una distancia superior a 200 km del epicentro.

Este dato experimental podía explicarse suponiendo la existencia, a una profundidad de unos 50 km, de una discontinuidad (llamada «discontinuidad de Mohorovicic») en las propiedades elásticas de los materiales, capaz de reflejar las ondas sísmicas.

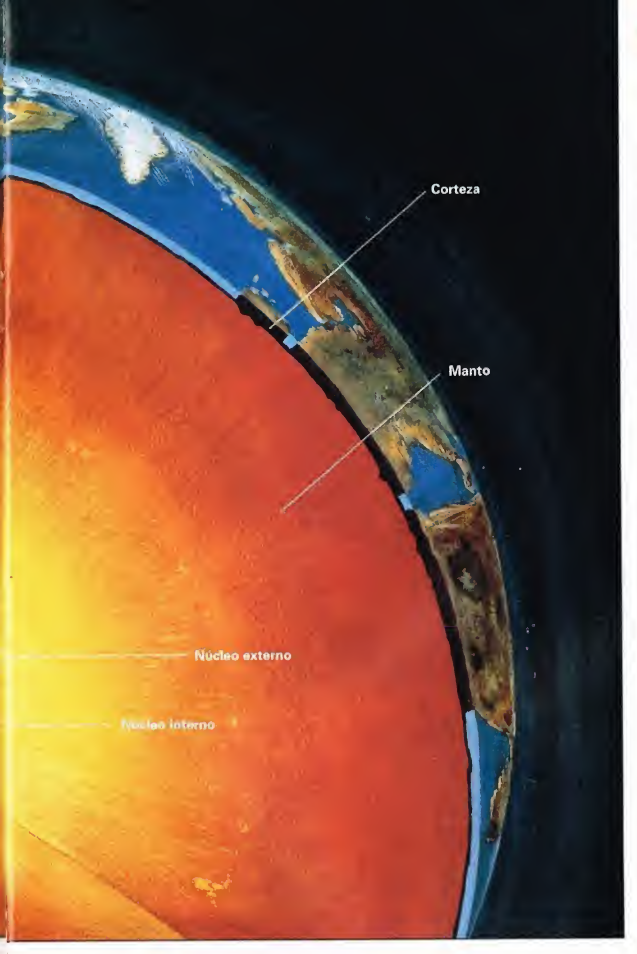
En 1913, el sismólogo B. Gutemberg demostró la existencia de otra discontinuidad a una profundidad de 2.900 km, que tomó el nombre de su descubridor.

En efecto, las ondas P registradas hasta una distancia de unos 100° del epicentro presentan una amplitud bastante homogénea.

Entre 100 y 140°, las amplitudes se atenúan notablemente (es la llamada zona de sombra) para volver a aumentar a distancias superiores a 140°.

En los años veinte, con la mejora de los sismógrafos y de los métodos de análisis, se descubrió que las ondas P también aparecían en los sismogramas correspondientes a la zona de sombra, a distancias comprendidas entre 110 y 140° del epicentro. Estas ondas habían atravesado la discontinuidad de Gutemberg y habían sido reflejadas por otra discontinuidad situada a unos 5.000 km de profundidad, la discontinuidad de Lehmann, así llamada en honor del sismólogo danés que conjeturó su existencia en 1936.

Pero la prueba experimental de la existencia de esta discontinuidad no llegó hasta 1970 gracias al análisis de los sismogramas de las ondas producidas



EL ESTUDIO DE LAS ONDAS SÍSMICAS

En la actualidad, el interior de nuestro planeta se investiga con variadas técnicas. Entre ellas destaca el estudio de las ondas sísmicas, cuya propagación depende de las características del medio por el que se mueven.

por explosiones nucleares subterráneas y seísmos naturales.

A comienzos de los años treinta, los sismólogos, en particular C.F. Richter, B. Gutemberg y H. Jeffreys, basándose en el análisis de miles de trazados de ondas P y ondas S (las demás ondas viajan más lentamente que las P), calcularon con suficiente precisión la velocidad de las ondas sísmicas en varias capas del interior de la Tierra. Estos científicos descubrieron que en la parte exterior del núcleo de la Tierra, la que está comprendida entre la discontinuidad de Gutemberg y la de Lehmann, no se propagan las ondas S, lo que significa que el material allí presente tiene que encontrarse en estado líquido.

Por consiguiente, las ondas sísmicas nos dicen que las características físicas del interior de la Tierra varían de un modo bastante discontinuo. Se han descubierto superficies de discontinuidad que pueden interpretarse como niveles, de espesor a veces pequeño y a veces notable, que separan partes del interior terrestre de constitución química y/o física diferente.

Obviamente, los datos proporcionados por las ondas sísmicas se comparan con los resultados de experimentos realizados en el laboratorio. Se preparan muestras de material de composición química similar a la que debería constituir las distintas capas de la Tierra.

Con instrumentos proyectados para el caso, estas muestras son sometidas a presiones y a ondas de choque de altísima densidad, generalmente por medio de explosivos. Se estudia su comportamiento en lo tocante a la velocidad de transmisión de las ondas elásticas y a las variaciones de densidad en condiciones de presión y temperatura equivalentes a las que probablemente reinan en el interior de la Tierra.

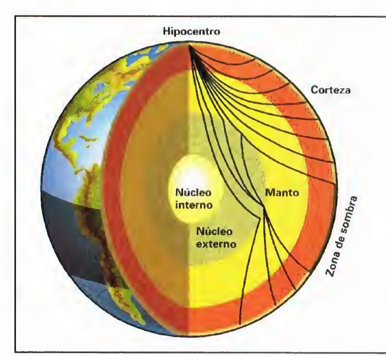
CORTEZA, MANTO, NÚCLEO

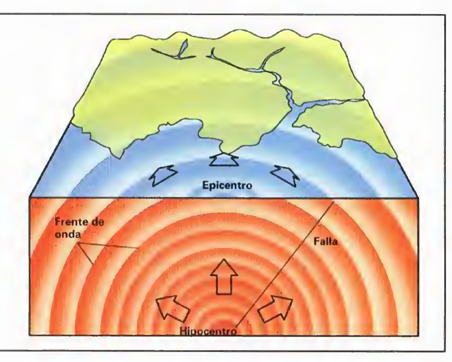
Los geofísicos, basándose en los datos obtenidos a partir de todas estas técnicas, han construido un modelo del interior de la Tierra aceptado a grandes rasgos por todos. Ciertas estructuras son reconocidas universalmente, pero hay otras que son objeto de controversia.

CORTEZA: la capa más externa de la Tierra es la corteza, limitada inferiormente por la discontinuidad de Mohorovicic, o simplemente Moho. Encima de esta discontinuidad, las ondas P se propagan por las rocas con una velocidad media de 6-7 km/s; debajo, la velocidad supera los 8 km/s.

La Moho se encuentra a una profundidad variable, por término medio a unos 10 km por debajo de las áreas oceánicas y a unos 35-40 km por debajo de los continentes, donde puede llegar a los 70 km en correspondencia con las «raíces» de las más altas cadenas montañosas, como los Alpes y el Himalaya.

Se cree que hay una diferencia de composición química entre la corteza oceánica, más delgada, y la corteza continental, más gruesa. La primera tiene una densidad media de 3 g/cm³ y está formada por basalto del tipo del que fluye a lo largo de las dorsales medioocéanicas. Más compleja es la situación de la corteza





Dos esquemas que representan el modo de propagarse las ondas sísmicas por el interior de la Tierra. Como se advierte, éstas sufren una especie de «refracción» al pasar de una capa a otra de distinta densidad.

continental, para la cual se han propuesto muchos modelos. Hay acuerdo general sobre una densidad media, que se estima en torno a los 2,8 g/cm^3.

De todos modos, la mayoría de los modelos en discusión concuerdan con la idea de que las rocas de la corteza continental son cada vez más básicas a medida que nos dirigimos hacia la Moho.

El modelo tradicional de la estructura química de la corteza continental, deducido del estudio de distintas áreas de la Tierra, prevé que, debajo del ligero revestimiento de rocas sedimentarias, hay una capa más superficial de rocas compuestas por granito y neis a la que se ha dado el nombre de «capa del granito». Más abajo hay un nivel con rocas de tipo metamórfico, que ha tomado el inapropiado nombre de «capa del basalto» sólo porque sus propiedades elásticas son similares a las del basalto.

Cerca de los márgenes continentales, la capa del basalto confluye con el basalto de la corteza oceánica.

De todas maneras, el modelo que acabamos de describir no ha sido suficientemente confirmado, por lo que la cuestión de la estructura de la corteza continental sigue más abierta que nunca.

También los modelos que describen la corteza oceánica prevén una subdivisión en varias capas. La más superficial está constituida por los depósitos sedimentarios, que pueden llegar a alcanzar un espesor de 1 km. Sigue un espesor de unos 2 km de lavas basálticas más porosas en la parte superficial, las llamadas «lavas de pillow», y más macizas en la parte inferior. Todo ello se apoya en una capa más gruesa que puede alcanzar los 5 km, formada por rocas intrusivas macizas, más o menos básicas, entre las que predominan los gabros.

Esta serie de niveles rocosos situados debajo de la capa sedimentaria, llamados «ofiolitas», caracterizan la mayor parte de los océanos de la Tierra. Una peculiaridad de las ofiolitas reside en que su edad crece regularmente desde las dorsales mediooceánicas, donde pueden llegar a tener poquísimos miles de años, hasta los continentes, en cuyos márgenes pueden alcanzar los 200 millones de años.

MANTO: debajo de la corteza empieza el manto, que se extiende hasta la discontinuidad de Gutemberg, situada a unos 2.900 km de profundidad. En el manto la velocidad de las ondas P aumenta al hacerlo la profundidad, partiendo de un valor de unos 8 km/s y llegando a alcanzar los 13 km/s; la densidad, por su parte, pasa de 3 a 5,6 g/cm^3.

La temperatura aumenta desde unos pocos cientos de grados en la Moho hasta más de 3.000 °C en la discontinuidad de Gutemberg. La presión, por su parte, alcanza valores del orden de 1,4-1,5 millones de atmósferas.

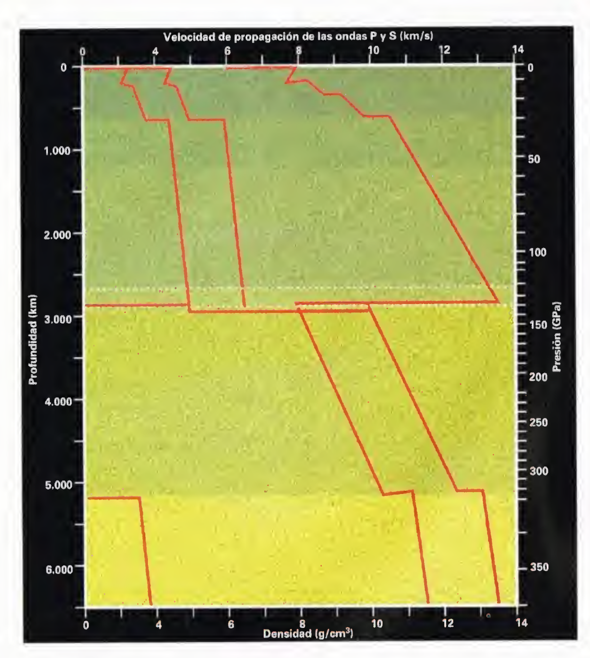
La composición química de las rocas del manto más próximas a la Moho parece ser la de las peridotitas, rocas formadas por olivino y piroxeno; a mayor profundidad se pasaría a materiales constituidos por los mismos elementos químicos (Si, O, Fe y Mg) pero formando estructuras cristalinas más compactas, capaces de resistir las condiciones de temperatura y presión existentes.

Las rocas del manto, como se deduce de su capacidad de transmitir las ondas S, son todavía sólidas pese a la cercanía de la temperatura de fusión, la cual, de todos modos, no se alcanza debido a las elevadas presiones.

LÍMITE NÚCLEO-MANTO: debajo de la discontinuidad de Gutemberg comienza el núcleo. Esta estructura tiene un radio de 3.470 km, más de la mitad del radio terrestre. La densidad en la discontinuidad de Gutemberg pasa de pronto a unos 10 g/cm^3 para aumentar progresivamente hasta unos 13,5 g/cm^3, lo cual sugiere



El estudio de la lava, y por tanto de los magmas, es el único sistema que permite determinar los materiales de que se compone el interior terrestre. Salvo casos excepcionales, estos últimos proceden de pocas decenas de kilómetros de profundidad, por lo que de ellos podemos deducir muy pocas características de las partes más internas.



La gráfica de la izquierda muestra la velocidad de las ondas sísmicas y la estructura interna de la Tierra. Las ondas P «primarias» se propagan en los sólidos y los líquidos. Las ondas S «secundarias» no lo hacen en los líquidos; por eso se cree que el núcleo externo es líquido.

la hipótesis de un brusco cambio de composición química.

La característica más significativa del material existente por debajo de la discontinuidad de Gutemberg es que en él las ondas S dejan de propagarse, cosa que indica que esta parte de la Tierra se encuentra en estado líquido.

En el límite entre el manto y el núcleo terrestre hay una neta variación de la composición química y el estado físico del material. Este límite corresponde a la capa D'', cuyo nombre deriva de una vieja subdivisión del interior de la Tierra. La capa D'' tiene un espesor variable que en algunas zonas puede alcanzar los 500 km y en otras ni siquiera ser detectable.

En los últimos años los geofísicos han realizado numerosos estudios sobre esta capa, en la cual se producen al parecer intercambios de materia entre el núcleo y el manto.

Parece que el metal fundido del núcleo puede ser reabsorbido por las partes más profundas del manto y que parte del material del manto puede fundirse en el metal líquido del núcleo, dando origen a sedimentos enriquecidos en hierro que se depositan en el límite núcleo-manto, en las partes más gruesas de la capa D''. Luego, estos sedimentos son parcialmente extraídos por movimientos convectivos del manto y nuevas rocas del manto entran en contacto con el metal del núcleo.

Estas conclusiones están todavía pendientes de confirmación. Además, no se está aún en condiciones de valorar el efecto sobre otros fenómenos de la Tierra, como el campo magnético, que tienen lugar en el límite entre el núcleo y el manto.

NÚCLEO: como ya hemos visto, se ha confirmado que dentro del núcleo hay una superficie de discontinuidad, la discontinuidad de Lehmann, que separa el núcleo externo, líquido, del núcleo interno, que es sólido porque permite que en su seno se propaguen las ondas S. La discontinuidad de Lehmann se encuentra a 1.216 km del centro de la Tierra (que corresponden a 5.162 km de profundidad) y está rodeada por una «zona de transición» de unos 500 km de espesor.

Para obtener datos sobre la composición y la estructura del núcleo terrestre ha sido necesario realizar muchísimos experimentos de laboratorio y elaborar gran número de datos sismológicos. Se cree que el núcleo está probablemente formado por hierro mezclado en un porcentaje del 15-20% con silicio. Se tiende a descartar la hipótesis tradicional de un núcleo formado como los meteoritos ferrosos (aleación de hierro y níquel) porque en tal caso las densidades serían mayores que las compatibles con los datos sísmicos. Tal vez otros elementos químicos podrían arrojar los mismos valores observados de densidad y velocidad de las ondas sísmicas, pero el hierro y el silicio son los candidatos más probables. El núcleo constituye cerca de un tercio de la masa terrestre, por lo que tiene que contener elementos relativamente abundantes. Ahora bien, el hierro es el único elemento abundante que puede dar lugar a los valores observados de la densidad en las condiciones de temperatura y presión del núcleo.

Los terremotos (a la derecha vemos los efectos del de Osoppo, en Italia, en 1976) son fenómenos devastadores que permiten obtener informaciones, aunque sean indirectas, sobre las características del interior de la Tierra. De la propagación de las ondas sísmicas de un punto a otro de nuestro planeta se deducen las características físicas y químicas de los materiales presentes debajo de la superficie y los correspondientes espesores.



LOS ASTRÓNOMOS AFICIONADOS

Cuando se ha adquirido una cierta familiaridad con el cielo, es normal sentir el deseo de llevar a cabo alguna actividad que sea útil a los astrónomos profesionales, como es normal la ambición de realizar algún descubrimiento original. Las estrellas variables y las supernovas permiten cumplir estos deseos.



Arriba a la derecha, imagen de la galaxia NGC 5005, en la cual se descubrió la supernova 1996ai la noche del 16 de junio de 1996. Este objeto, de magnitud 14,5, es visible en el borde izquierdo de la galaxia.

Los astrónomos aficionados, aquellos que hacen de la astronomía una pasión y no una profesión, se pueden dividir en dos categorías: los que gustan de observar el cielo por el mero placer estético de la observación y los que se enfrentan al cielo con métodos y criterios que los convierten en auténticos científicos aficionados. Con el tiempo, muchos pasan del primer grupo al segundo. Esto sucede cuando, superado el entusiasmo inicial del descubrimiento de los planetas, se preguntan: «¿Cómo conseguir que mis observaciones sean útiles para la comunidad astronómica y contribuyan al perfeccionamiento de las teorías científicas?». Esta pregunta no es baladí, pues a menudo el trabajo de los astrónomos aficionados es de utilidad para los profesionales. Naturalmente, hay campos preferentes, caracterizados por una exigencia, la de no requerir una instrumentación demasiado sofisticada. Otra consideración importante es la de dedicarse a observaciones sistemáticas, de objetos que requieran un control continuado.

A la izquierda, la supernova descubierta el 21 de mayo de 1996 en la galaxia NGC 5775. La supernova, de tipo IIn, era de magnitud 16,5, mientras que la galaxia huésped era de magnitud 12,5.

LAS ESTRELLAS VARIABLES

Por esta razón, la clase más indicada de objetos celestes es la de las estrellas variables. Se trata de estrellas que, por diversos motivos, cambian de luminosidad, regular o irregularmente, con el tiempo.

La observación de las estrellas variables durante largos períodos permite reconstruir sus llamadas curvas de luz, que muestran cómo varía la magnitud con el tiempo. Mediante el análisis cuidadoso de las curvas de luz, junto con otros tipos de medidas, los científicos pueden identificar las causas físicas de las variaciones de brillo.

Obviamente, no es posible dedicar el precioso tiempo de los grandes telescopios a este tipo de observaciones, pues hay que reservarlos para investigaciones punteras, inaccesibles para los instrumentos de aficionado. No es de extrañar, pues, que la observación de las estrellas variables sea una de las principales tareas de los astrónomos aficionados, algunas de cuyas observaciones tienen la calidad de las que realizan los profesionales.

Para emprender un estudio serio de las variables se necesita, como es natural, un poco de práctica y es útil pedir ayuda a círculos astronómicos de la propia ciudad. Estas organizaciones dan útiles consejos y proporcionan las cartas celestes que identifican las zonas del cielo en las que se



A la derecha, imagen de la supernova 1996B, descubierta en la galaxia NGC 4357 por Alessandro Gabrijelcic. El descubrimiento tuvo lugar la noche del 16 de enero de 1996 con un telescopio de 28 cm de diámetro.

EL MÉTODO DE ARGELANDER

Para determinar la luminosidad de una estrella variable sin utilizar instrumentos sofisticados, hay distintos métodos. El más conocido y practicado por los aficionados es el llamado método de Argelander, basado en la comparación de la luminosidad de la estrella en cuestión con la de otras dos estrellas de referencia.

En la práctica se procede del modo siguiente. En primer lugar, es necesario disponer de una carta celeste que comprenda la región del cielo en la que se encuentra la variable, así como algunas estrellas próximas (supuestas no variables) de magnitud conocida. Estas cartas se pueden conseguir en los círculos locales de aficionados. Se identifican entonces dos de tales estrellas, llamadas de referencia, una más luminosa (A) y la otra menos (B) que la variable. Como estrellas de referencia hay que elegir dos cuyo brillo, a simple vista, no difiera mucho del de la variable; cuanto menor sea la diferencia mayor será la precisión de la estimación.

Se puede estimar la luminosidad de A comparada con la de la variable asignando los siguientes valores:

- el valor 0 si A y la variable parecen de igual luminosidad incluso después de un examen cuidadoso;
- el valor 1 si las dos estrellas parecen iguales a primera vista pero después de un análisis atento revelan una diferencia muy pequeña;
- el valor 2 si entre ambas hay una diferencia de luminosidad muy débil a primera vista, confirmada después por una observación más atenta;
- el valor 3 si entre las dos estrellas hay una débil diferencia a primera vista;
- el valor 4 si entre las dos estrellas hay una clara diferencia a primera vista;
- el valor 5 si entre las dos estrellas hay una gran diferencia a primera vista.

Se aplica luego el mismo procedimiento a la estrella B.

Se calcula a continuación la magnitud m_v de la variable con la siguiente fórmula:

$$m_v = (m_B - m_A)\ x/(x + y) + m_A$$

donde m_A y m_B son las magnitudes respectivas de las estrellas A y B, y x e y los valores asignados comparando las variables con las estrellas A y B.

El método de Argelander, utilizable para realizar estimaciones a simple vista o por medio de prismáticos o telescopios, tiene la ventaja de no requerir instrumentos auxiliares; sólo papel y lápiz. Permite obtener una precisión en las estimaciones (después de un poco de práctica) del orden de una décima de magnitud.

encuentran las variables que hay que tener «bajo control». En estos mapas se representa una porción reducida del cielo, donde se indican la variable en cuestión y las estrellas próximas, que sirven como referencia para estimar la magnitud de la variable. Entre los distintos métodos utilizados para la estimación de una variable, el más practicado suele ser el de Argelander, descrito con detalle en el recuadro. Este método no requiere ningún instrumento auxiliar y permite alcanzar una precisión sorprendente, del orden de una décima de magnitud.



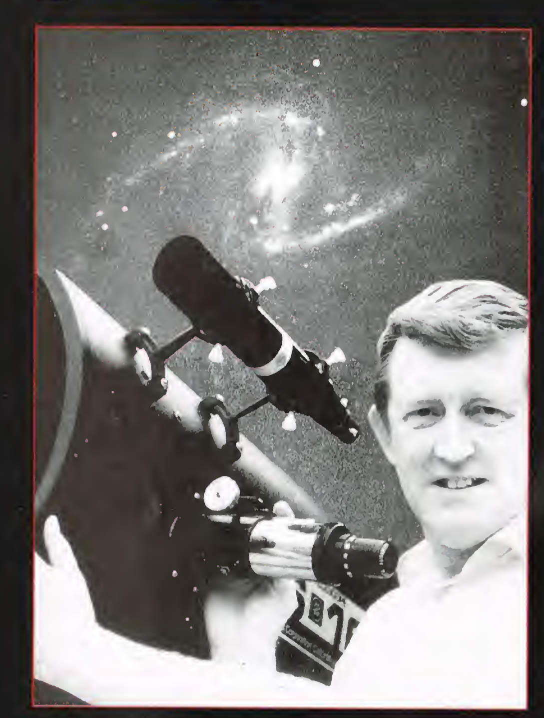
En la imagen de gran campo de la derecha se ven algunas galaxias del cúmulo que se encuentra en la dirección de la galaxia del Pavo Real. Las regiones del cielo en las que hay cúmulos no demasiado lejanos son las más favorables para el descubrimiento de supernovas.



A la izquierda, imagen de la galaxia NGC 6946. Se trata de una de las galaxias con mayor presencia de supernovas; en su interior se han descubierto, hasta el momento, cuatro.

ALGUNOS CONSEJOS

Entre los consejos que se pueden dar a quien quiera emprender un trabajo serio de «variabilista» figura en primer lugar el de estar atento... a no equivocarse de estrella (parece obvio, pero si la variable es débil y se observa con un telescopio, se corre el riesgo de perderla entre las miríadas de estrellas de fondo).





Arriba, fotografía de la supernova 1997br, en la galaxia ESO 576-40. La imagen, obtenida con un telescopio de 50 cm de diámetro acoplado a un CCD, requirió una exposición de nueve minutos y tiene un campo de 5 × 7 minutos de arco. La galaxia es de magnitud 14,7.

También es necesario cerciorarse de que las estrellas de referencia elegidas no sean a su vez variables, en cuyo caso las medidas no serían en absoluto fiables.

Se puede comenzar el trabajo con variables fáciles, esto es, más bien luminosas, y pasar luego a otras más débiles, en el límite de los instrumentos. Además, estimando variables de pocos días de período se pueden obtener fácilmente las curvas de luz y verificar el trabajo realizado.

Una vez adquirida una cierta práctica y efectuadas una serie de medidas fiables, conviene enviar una copia del trabajo realizado a la sección de estrellas variables del círculo astronómico de la propia ciudad o hacerlo llegar directamente a la AAVSO (American Association of Variable Star Observers), la organización internacional que recoge las estimaciones de variables realizadas por aficionados de todo el mundo, efectúa un primer análisis de los datos tratando de deducir las curvas de luz y pone los datos obtenidos a disposición de los profesionales que los necesitan. Así, las medidas obtenidas contribuirán, aunque sea en una pequeña parte, al progreso de la ciencia en general y a la mejora de los modelos de evolución de las estrellas en particular.

El reverendo Robert Evans es indudablemente el maestro de los cazadores de supernovas y un ejemplo para todos ellos. Evans alterna su misión pastoral con la observación del cielo, que puede contemplar en la oscuridad de los desiertos australianos.

LA PASIÓN POR LAS SUPERNOVAS

Otro campo que reviste gran interés para los aficionados que quieren dedicarse a algo más que a la simple contemplación del cielo es la búsqueda de supernovas. Se trata de estrellas al término de su evolución que explotan de pronto y se vuelven tan brillantes como miles de millones de soles.

Naturalmente, no es posible prever el momento en que una estrella explotará como supernova, por lo que también en este campo son necesarias prolongadas y repetidas observaciones de las que no pueden encargarse los grandes telescopios profesionales.

Para dedicarse a la búsqueda de supernovas es necesario un instrumento adecuado, un telescopio de dimensiones medias (25-30 cm de diámetro), porque hay que observar galaxias exteriores a la Vía Láctea.

En nuestra Galaxia no explota una supernova desde 1604 pese a que las teorías sostienen que debería explotar una cada cincuenta años más o menos.

La búsqueda de supernovas requiere además una enorme paciencia y una óptima memoria visual, en

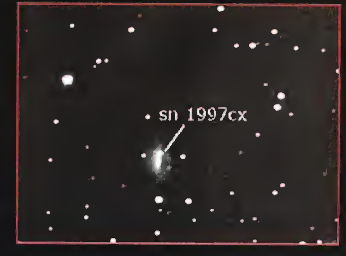


Imagen de la supernova 1997cx, observable como un puntito luminoso situado en el borde superior de la galaxia huésped. Actualmente se descubren decenas de supernovas el año y el número de las descubiertas va en constante aumento.

ASTRÓNOMOS AFICIONADOS DESCUBRIDORES DE AL MENOS DOS SUPERNOVAS

Nombre	País	Número de descubrimientos	Período	Método
R. Evans	Australia	35	1981-1996	V, F
R. Kushida	Japón	5	1991-1996	V, F
W. Johnson	EE UU	5	1991-1996	V, F
M. Aoki	Japón	4	1996	CCD
C. Buil	Francia	2	1992-1996	CCD
A. Gabrijelcic	Italia	2	1995-1996	CCD
S. Horiguchi	Japón	2	1984-1985	F
S. Sasaki	Japón	2	1992-1996	F
W. Wren	EE UU	2	1992-1994	V
N. Brown	Australia	2	1992-1994	V
K. Ikeya	Japón	2	1984-1988	V
G. Romano	Italia	2	1957-1961	F
M. Villi	Italia	2	1991-1994	V
K. Okazaki	Japón	2	1983-1985	F
P. Mazza	Italia	2	1995-1996	V
S. Pesci	Italia	2	1995-1996	V
G. Cortini	Italia	2	1991-1994	V

En la columna «método», V significa que el descubrimiento se realizó con un método visual; F, fotográficamente, y CCD, con un dispositivo electrónico para la recogida de imágenes.

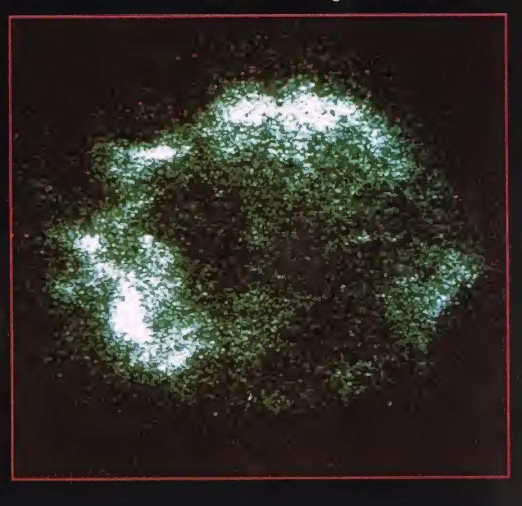


La supernova SN 1997bq, visible en los brazos espirales de la galaxia huésped. También los estrónomos profesionales descubren supernovas, pero en la mayor parte de los casos se trata de descubrimientos que se han producido de un modo casual.



A la izquierda, imagen de la supernova 1997cn en la galaxia huésped NGC 5490. Esta supernova fue descubierta el 14 de mayo de 1996, cuando era de magnitud 15,8; la galaxia es una elíptica de magnitud 12,8.

el caso de que la tarea se realice visualmente, sin utilizar fotografías o imágenes tomadas con dispositivos electrónicos como los CCD. La técnica de búsqueda es muy simple: se trata de enfocar el máximo posible de galaxias, una tras otra, comparando su aspecto con el que dan los catálogos fotográficos de galaxias o, más velozmente, con el que ha sido memorizado en observaciones precedentes. Por eso decíamos que es necesario tener una buena memoria visual, pues la comparación de cada galaxia con la imagen de los catálogos (siempre que se disponga de una foto de la galaxia en cuestión) hace perder mucho tiempo y no permite observar tantas galaxias. Cuantas más galaxias se observen mayor es la probabilidad de ver una supernova.

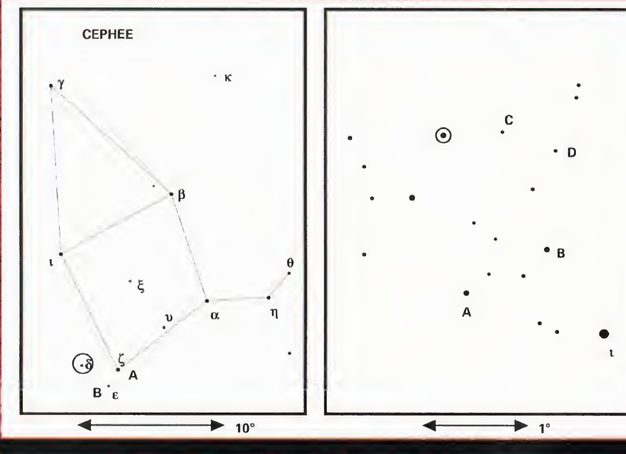


El remanente de supernova Cassiopea A, fotografiado por el satélite Einstein. Estos objetos representan lo que queda después de la explosión de una supernova y son visibles durante un tiempo limitado. Después se difuminan lentamente por el espacio interestelar.

La eventual supernova se manifiesta como una estrella brillante (en comparación con la propia galaxia) situada en un lugar en el que anteriormente no había ninguna estrella digna de señalar. En el caso de creer que se ha descubierto una nueva supernova, hay que comunicar inmediatamente todos los datos al International Astronomical Bureau, el cual asigna eventualmente la paternidad del descubrimiento.

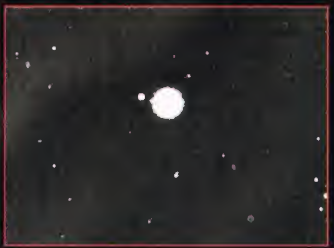
UN REVERENDO... CERCA DEL CIELO

El aficionado al que corresponde por derecho el título de rey de las supernovas es sin duda el australiano Robert Evans, que vive en Hazelbrook (Nueva Gales), a unos 50 km al oeste de Sidney. Evans es ministro de la Iglesia Unida Australiana,



Dos mapas utilizados por los aficionados para la búsqueda de estrellas variables. El primero representa Delta Cephei (arquetipo de las cefeidas), cuya magnitud varía entre 3,48 y 4,37; el segundo, RZ Cassiopeiae (que varía entre 6,18 y 7,72).

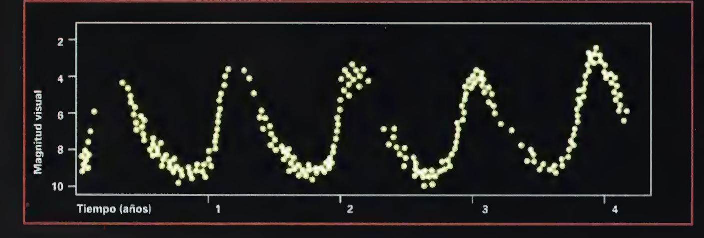




Dos imágenes de la variable Mira Ceti (una variable de tipo pulsante) que muestran la estrella, respectivamente, en el mínimo y en el máximo de luminosidad. La amplitud de su variación es del orden de siete magnitudes y su espectro muestra las características rayas de emisión del hidrógeno (en la fase de máximo) y de los metales (antes del mínimo).

aunque en realidad es un semiprofesional de la astronomía y ha recibido muchos premios en todo el mundo por los trabajos que ha realizado sobre las supernovas.

Evans utiliza un telescopio de 41 cm de diámetro, obsequio de la Commonwealth Scientific and Industrial Organization, con el cual sustituyó en 1985 un 25 cm de fabricación propia que había empleado durante mucho tiempo. Con el nuevo instrumento, utilizado visualmente, Evans observa cada noche de 50 a 150 galaxias, cuyos detalles, huelga decirlo, conoce de memoria. Observando de 20 a 30 horas al mes, Evans realiza unas 15.000 observaciones anuales de galaxias. A finales de 1996, Evans podía vanagloriarse de haber descubierto 35 supernovas.



Gráfica que muestra la curva de luz de la estrella Mira Ceti, una de las variables de largo período (casi un año) más conocidas del cielo. La construcción de la curva de luz, resultado final de la observación de una variable, permite determinar su tipo y sus características.

UN TRABAJO ÚTIL

A veces los aficionados pueden convertirse en semiprofesionales de la astronomía y contribuir con sus observaciones al trabajo de los astrónomos profesionales. Naturalmente, los campos de investigación son limitados; fuera del sistema solar, los más prometedores e interesantes son la observación de estrellas variables y la búsqueda de supernovas.

TIEMPOS MODERNOS

Naturalmente, la observación visual no es la única posible; también se pueden buscar supernovas fotográficamente. Si se fotografía un cierto número de galaxias en una noche, se puede comparar más reposadamente su aspecto con el de los mapas fotográficos; la fotografía, además, permite alcanzar magnitudes mucho más profundas. Por otra parte, los aficionados pueden adquirir hoy, a precios relativamente asequibles, los dispositivos electrónicos de recogida de imágenes. Se trata de los famosos CCD (Charge Coupled Devices, dispositivos de acoplamiento de carga), con los cuales se pueden detectar estrellas todavía más débiles con tiempos de exposición extraordinariamente breves.

Unos pocos consejos para los cazadores de supernovas: estos fenómenos, estadísticamente, se dan con mayor frecuencia en las galaxias espirales de gran masa. Además, es más fácil advertir el suceso en galaxias cuyo plano sea perpendicular o casi a la visual. Por otra parte, como es natural, la probabilidad de observación aumenta para las galaxias no demasiado lejanas (en cuyo caso se pueden observar supernovas no demasiado brillantes). Con un telescopio equipado con un CCD se pueden investigar galaxias situadas a distancias de hasta 200 millones de años luz.

De todas maneras, hay que tener en cuenta que la cualidad más importante del cazador de supernovas tiene que ser la constancia.

Imagen, convertida en un clásico de estos últimos años, que representa el anillo que rodea la supernova 1987A. Es probable que este anillo esté compuesto de materia expulsada por la estrella antes de la explosión de supernova y que luego haya quedado iluminado por la propia explosión.

¿QUÉ ES LA AAVSO?

La AAVSO (American Association of Variable Star Observers) es la organización que recoge a nivel mundial las estimaciones de estrellas variables realizadas por los astrónomos aficionados. Esta organización tiene miembros en unos 40 países de todo el mundo y cada año recoge unas 300.000 estimaciones. Desde su fundación en 1911, ha catalogado unos 8,5 millones de observaciones de variables.
Para más información dirigirse a:
The American Association of Variable Star Observers
25 Birch Street
Cambridge, MA 02138-1205
United States of America
o buscarla en la dirección de Internet:
http://www.aavso.org

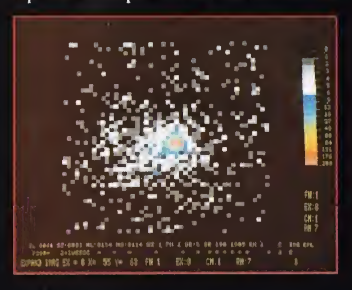
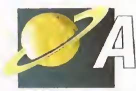


Imagen ultravioleta de la Gran Nube de Magallanes obtenida por el satélite IUE. En esta galaxia apareció la supernova 1987A, la más cercana observada desde la invención del telescopio. Se puede ver en el centro de la imagen, donde hay algunos pixels rojos y azules.

LA LIEBRE

La pequeña constelación de la Liebre, poco conocida, se remonta a la antigüedad clásica, pues ya sabían de ella los antiguos griegos.



Aunque no es una de las constelaciones más brillantes, la Liebre no es difícil de ver en las noches invernales, si bien la presencia de astros más próximos la hacen pasar a menudo a un segundo plano.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Entre los vecinos de la Liebre figura Orión, del cual podemos partir para llegar a aquélla; mirando debajo de Rigel y Saiph, las rodillas del gigante, veremos un grupito de estrellas que, con un cierto esfuerzo de imaginación, nos recordará el morro de una liebre o de un conejo.

Otro método consiste en partir de la brillante Sirio y desplazarnos unos veinte grados hacia el oeste hasta encontrar Alfa.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Alfa, la estrella más luminosa de la Liebre, es de magnitud 2,6. Se trata de un astro blanco que dista unos mil años luz de nosotros.

Gamma, en cambio, es una estrella doble fácilmente separable con unos prismáticos en un par de astros de magnitudes 3,6 y 6,2 y de colores amarillo y anaranjado, respectivamente.

En el límite de observabilidad a simple vista cerca del máximo se encuentra la variable designada por la letra R, que oscila entre las magnitudes 5,5 y 11,7. Se trata de una estrella de color rojo oscuro que completa su variación de luminosidad en un periodo de 427 días. R pertenece a la categoría de las llamadas «estrellas de carbono» debido a la presencia en su espectro de fuertes rayas de absorción correspondientes a este elemento. Esta estrella se denomina «estrella purpúrea de Hind» en honor del astrónomo que la descubrió en 1845.

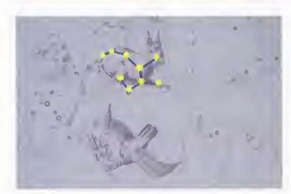


El cúmulo globular M79, pese a no figurar entre los más impresionantes de la bóveda celeste, es rico en estrellas.

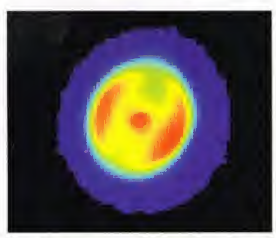
OBJETOS DE LA LIEBRE

En la constelación de la Liebre hay algunos objetos interesantes para una observación telescópica, entre ellos uno perteneciente al catálogo de Messier. Se trata del cúmulo globular M79, que se encuentra a una distancia superior a 40.000 años luz y brilla con octava magnitud. Su diámetro aparente es igual a una décima parte del disco lunar. Para empezar a resolver en estrellas individuales las regiones periféricas del cúmulo hay que recurrir a instrumentos de al menos una veintena de centímetros de diámetro.

En la Liebre encontramos una pequeña nebulosa planetaria, designada con las siglas IC 418, de novena magnitud.



La Liebre está situada no lejos del cazador Orión y de sus perros, constelaciones éstas con las que está verosímilmente relacionada.



IC 418 es una pequeña nebulosa planetaria; la estrella central es de undécima magnitud.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

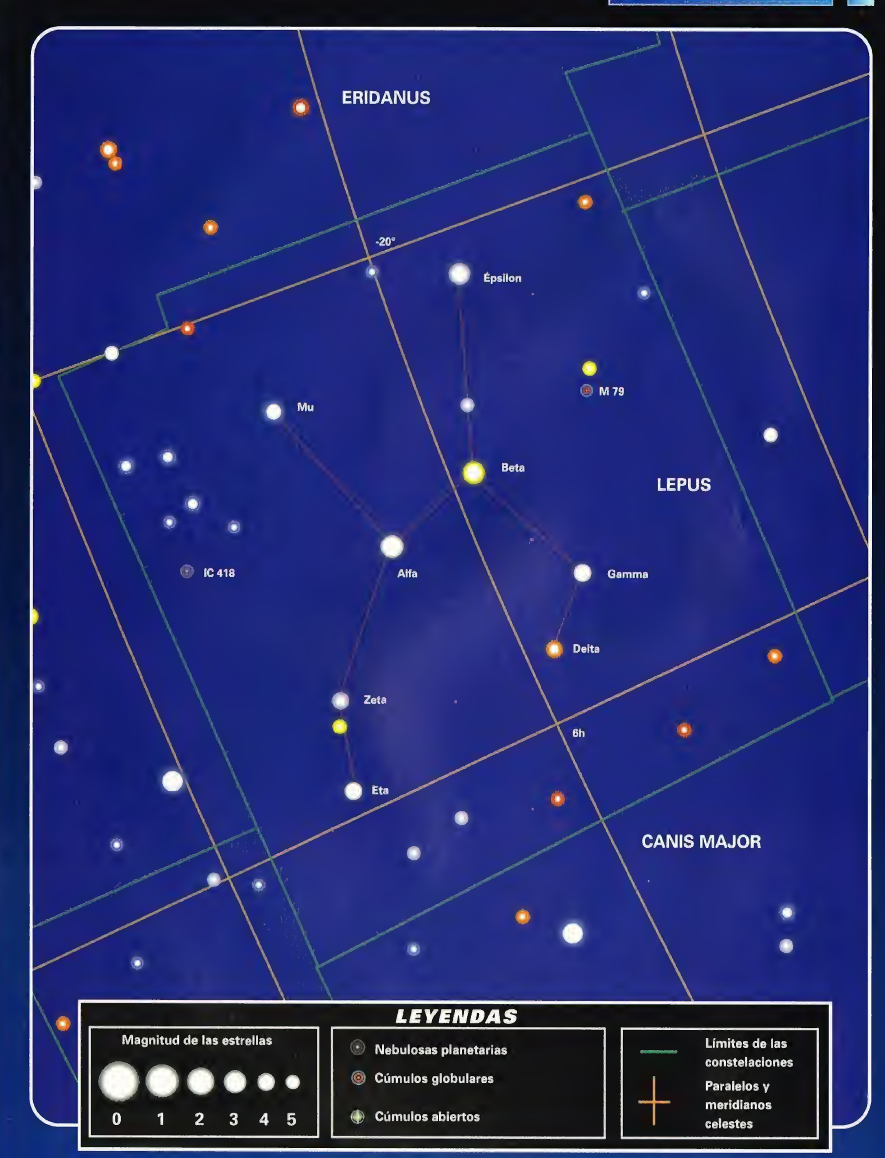
LA LIEBRE

A propósito de la constelación de la Liebre existe la leyenda siguiente. Un día, un hombre llevó una liebre a la isla de Laro con la intención de introducir la especie en aquel medio. La especie, muy prolífica, se difundió por toda la isla, devastando los cultivos y provocando gran escasez. En consecuencia, la población decidió exterminar aquel animal que tan peligroso había demostrado ser. Fue necesario un gran esfuerzo para conseguirlo, y para perenne advertencia la imagen de la liebre fue colocada en el cielo, entre las estrellas. Según otra tradición, la Liebre se esconde entre los pies del cazador Orión.

DÓNDE BUSCARLA

LA LIEBRE

La constelación de la Liebre se deja ver en el período invernal, siguiendo el mismo período de observabilidad que su vecina Orión. El paso por el meridiano a medianoche se produce hacia la mitad del mes de diciembre, período durante el cual la Liebre permanece visible durante la mayor parte de la noche.
Aunque la Liebre se encuentra en el hemisferio austral, sus límites en declinación, entre –11 y –27°, la hacen observable desde la mayor parte de la Tierra.
La constelación de la Liebre abarcá una región del cielo comprendida entre 4 horas 55 minutos y 6 horas 10 minutos de ascensión recta.


ERIDANUS
-20°
Épsilon
M 79
Mu
Beta
LEPUS
Alfa
IC 418
Gamma
Delta
Zeta
6h
Eta
CANIS MAJOR
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Nebulosas planetarias
Cúmulos globulares
Cúmulos abiertos
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

ATMÓSFERA Y ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Tanto de día como de noche, el cielo nos brinda siempre espectáculos sorprendentes: numerosos y fantásticos son los fenómenos luminosos que se ofrecen a nuestra vista.



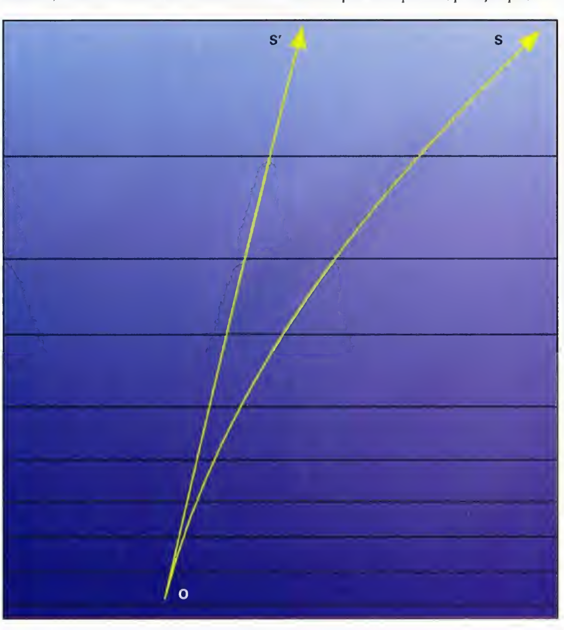
La atmósfera terrestre es una capa de gas (esencialmente oxígeno y nitrógeno) que rodea nuestro planeta y es retenido alrededor de la Tierra por la atracción gravitacional que ejerce el planeta sobre las moléculas de gas que la componen. La presencia de la atmósfera ha permitido la aparición y el desarrollo de la vida en la Tierra. Esta capa de gas nos protege de las radiaciones solares demasiado energéticas y es transparente en las regiones visible y de radioondas del espectro solar. Además, la atmósfera es un lugar en el que se producen múltiples fenómenos ópticos.

ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera tiene una estructura estratificada. Las diversas capas suelen denominarse atendiendo al modo como varía la temperatura en su interior. Partiendo de la superficie terrestre, la parte más baja de la atmósfera es la troposfera, donde la temperatura disminuye con la altitud. La troposfera llega hasta unos 10-20 km de altura. Encima de la troposfera está la tropopausa, una capa de transición de pocos kilómetros de espesor con una temperatura de 50-80 °C bajo cero. Sobre ella está la estratosfera, en la cual la temperatura vuelve a aumentar hasta alcanzar los cero grados. Aquí comienza la estratopausa, a unos 50 km de altitud. Encima de la estratopausa la temperatura disminuye otra vez con la altura en una región llamada mesosfera. La zona de transición entre la mesosfera y la termosfera se llama mesopausa. En la termosfera la temperatura puede llegar a superar los 1.000 °C. Encima se encuentra la última capa de la atmósfera terrestre, la exosfera, a una distancia de unos 1.000 km.

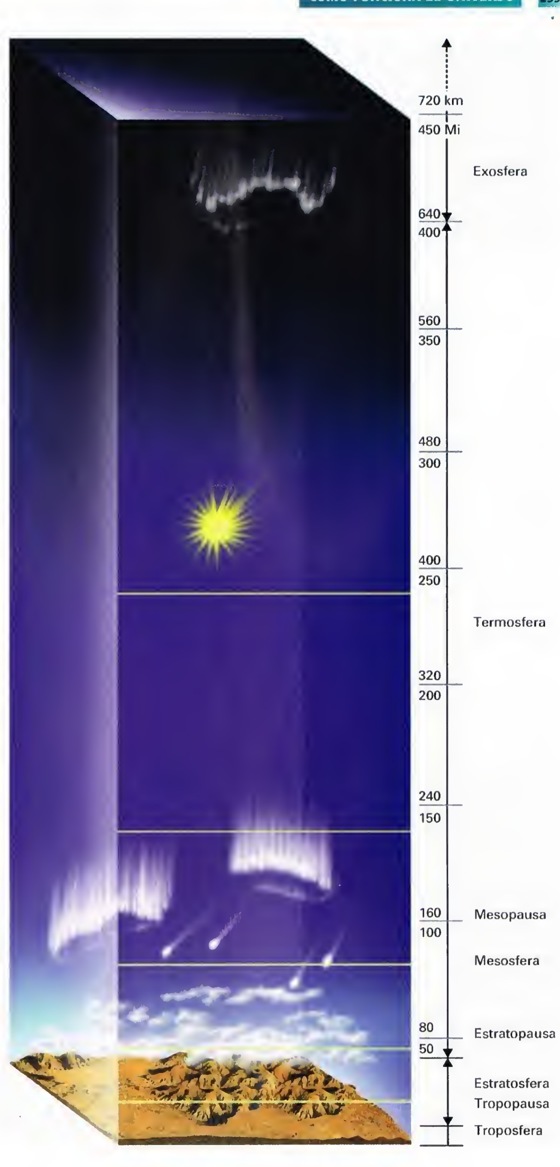
Arriba, nuestro planeta, la Tierra, visto desde el espacio. La presencia de la atmósfera es patente en forma de nubes.

La temperatura no es el único parámetro que caracteriza la atmósfera. Atendiendo a la composición química, por ejemplo, se



La luz procedente de la estrella S es desviada progresivamente por refracción al atravesar las capas de la atmósfera. A un observador situado en la Tierra le parece que el astro se encuentra en la dirección S' y no en la dirección S.

El esquema de la derecha muestra una sección vertical de la atmósfera con sus diversas capas, desde el suelo hasta una altitud de unos 700 km.



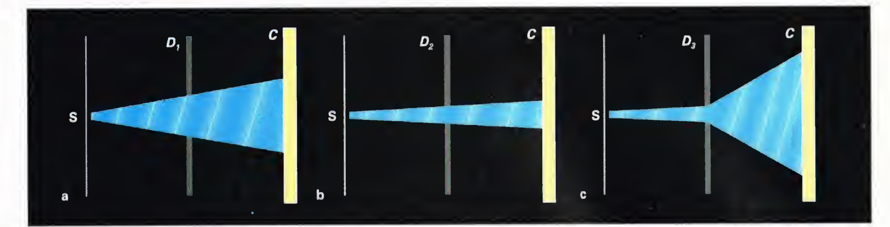
puede decir que hasta un centenar de kilómetros de altitud la atmósfera es homogénea porque se produce una mezcla continua de gases. Esta región es la homosfera. Por encima se encuentra la heterosfera, donde la radiación solar ultravioleta disocia las moléculas de gas en sus átomos constituyentes.

LA REFRACCIÓN ASTRONÓMICA

La atmósfera terrestre se puede considerar como un conjunto de capas superpuestas de características diferentes. Esta propiedad se refleja en la observación de los astros, pues la radiación luminosa procedente de una estrella, al atravesar la atmósfera, es desviada progresivamente por capas atmosféricas de propiedades ópticas diferentes en virtud del fenómeno de la refracción de la luz. Al atravesar la superficie de separación entre dos medios distintos, un rayo de luz se desvía de su dirección de propagación original. Cuentan como medios distintos el espacio interestelar y la atmósfera y, dentro de esta última, las distintas capas que la forman. Debido a ello, las estrellas no se encuentran en realidad en la dirección en que las vemos sino en otra ligeramente distinta. Los astrónomos tienen en cuenta el fenómeno mediante oportunas correcciones de las posiciones observadas de las estrellas. La atmósfera terrestre, por tanto, no sólo absorbe parte de la radiación procedente de las estrellas (absorción atmosférica), sino que también desvía dicha radiación. Este hecho explica el que en el crepúsculo logremos ver una porción del disco solar por encima del horizonte aunque en realidad el Sol ya se haya puesto y se encuentre íntegramente por debajo del horizonte. Los rayos de luz procedentes del astro son desviados por encima del horizonte de la atmósfera terrestre.

FENÓMENOS ÓPTICOS

En la atmósfera se producen numerosos fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos. A veces son fenómenos bastante frecuentes, como el rayo o el arco iris; otras veces, fenómenos más bien raros y visibles sólo desde algunas partes de nuestro planeta, como las auroras polares. Pero en todos los casos se trata de maravillosos espectáculos naturales. El arco iris es un efecto luminoso constituido por arcos coloreados, con el rojo como arco externo y el violeta como arco interno. Se trata de un efecto que se manifiesta sobre todo



El dibujo de arriba ilustra el fenómeno de la difracción de las ondas, que actúa, por ejemplo, en la formación de las coronas. Al atravesar una rendija de anchura comparable a su longitud de onda, la onda se difracta; el efecto es tanto mayor cuanto más estrecha es la rendija.

cerca de cascadas o al término de un temporal; es debido a la reflexión, la refracción y la dispersión que sufre la luz solar al atravesar las gotitas de agua presentes en la atmósfera. Éste no es el único efecto luminoso que se produce en la atmósfera a causa de los fenómenos físicos de la reflexión y la refracción de la luz. No es inusual observar en torno al disco solar o al lunar unos anillos más o menos coloreados; se trata de los llamados «halos».

LOS HALOS

Un halo es un conjunto de círculos coloreados, con el rojo en el interior y el violeta en el exterior, que se pueden ver en ciertas condiciones alrededor del disco solar o el lunar. A diferencia del arco iris, el halo es debido a la reflexión y la refracción de la luz por los cristales de hielo de las nubes altas. A veces puede haber dos círculos distintos en torno al disco de la fuente luminosa, un halo primario y otro secundario. El primer halo tiene un radio angular de unos 22° y el segundo de unos 46°. Generalmente, el halo secundario presenta una luminosidad menor que el primario.

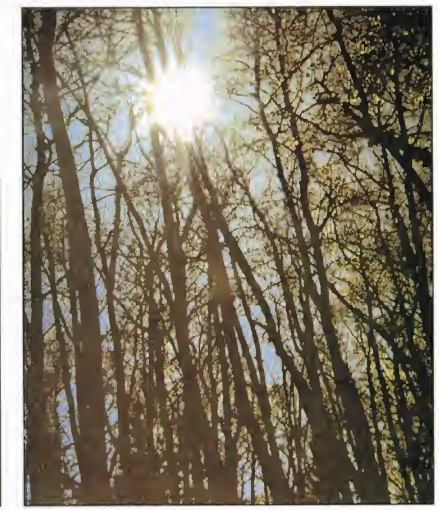
COLUMNAS, ARCOS, TANGENTES Y CÍRCULOS PARÉLICOS

En el caso muy especial de que los cristales de hielo que producen estos efectos luminosos estén todos orientados en una cierta dirección, además de los dos halos precedentes se forman otros espectaculares efectos luminosos. También son círculos, pero no rodean la fuente luminosa, sea ésta la Luna o el Sol.

Estos círculos son tangentes a los dos halos principales (se trata del «círculo parélico» y del «círculo paraselénico», según que la fuente luminosa sea el Sol o la Luna) o los cortan. Además de estos círculos se pueden formar auténticas columnas de luz, llamadas «columnas luminosas», que parecen atravesar el disco del Sol o el de la Luna. El parelio es un círculo luminoso blanquecino que pasa por la fuente luminosa y es paralelo al horizonte. El arco circuncenital es un arco que aparece alrededor del cenit, como se desprende del nombre, y es tangente al halo secundario. A menudo, en correspondencia con las intersecciones entre estos elementos del halo se tiene la impresión de ver discos luminosos, verdaderos discos.

Abajo a la izquierda, una clásica imagen de halos en la fotografía de un campo estelar. La difracción de la luz también se pone de manifiesto cuando el Sol asoma por entre los árboles de un bosque (abajo). La luz que sale rasante sufre una desviación lateral.







REFLEXIÓN, REFRACCIÓN, Y DIFRACCIÓN DE LA LUZ

Los fenómenos luminosos que se observan en el cielo son debidos a la reflexión, la refracción y la difracción de la luz. Cuando un rayo de luz atraviesa la superficie de separación entre dos materiales de distintas propiedades ópticas, parte de la luz se refleja y parte se refracta (sufre una desviación respecto a la dirección de propagación inicial). La difracción, en cambio, es un fenómeno físico más complejo que se manifiesta cuando en el camino de los rayos luminosos se interponen objetos o partículas de tamaño similar a la longitud de onda de la radiación incidente. Si, por ejemplo, la luz incide sobre una pantalla provista de un pequeño orificio, al otro lado de la pantalla se forma una imagen que no es exactamente la circular y nítida del orificio, sino que consiste en una alternancia de anillos concéntricos claros y oscuros o bien coloreados.

El arco iris es uno de los espectáculos naturales más bellos que ofrece la luz. Es debido a la refracción de la luz solar sobre las gotas de agua.

LAS CORONAS

Hay otras clases de fenómenos luminosos, las coronas, que también son anillos formados alrededor de los discos del Sol o de la Luna pero, a diferencia de los halos, se deben a la difracción de la luz por las gotitas de agua de las nubes medias.

Las coronas son unos anillos coloreados que se observan alrededor del Sol o de la Luna, rojos en el interior y azules en el exterior, que tienen un radio más pequeño (unos pocos grados) que los halos.

OTROS EFECTOS: DISTINTOS TIPOS DE NUBES

¡Cuántas veces habremos contemplado con sorpresa y curiosidad el movimiento de las nubes y sus constantes cambios de forma! Se trata de nubes ordinarias, pero ello no impide que nos brinden fantásticos espectáculos.

De otro tipo son las nubes de las que hablaremos ahora: se trata de fenómenos luminosos como las nubes irisadas, las nubes nacaradas y las nubes noctilucentes. Son bandas coloreadas producidas por la refracción de la luz, durante el crepúsculo; por gotas de agua, en el caso de las nubes irisadas, o por vapor de agua que se condensa sobre pequeñísimas partículas sólidas o cenizas, en el caso de las nubes noctilucentes.

LAS AURORAS POLARES

Las auroras polares son posiblemente el fenómeno en que primero se piensa cuando se habla de efectos luminosos observables en el cielo. De hecho, no se dispone todavía de una explicación totalmente satisfactoria de este extraño fenómeno. No obstante, el que las auroras polares se produzcan en correspondencia con una fuerte actividad solar lleva a pensar que su aparición está relacionada con una especial intensidad del viento solar, esto es, del flujo de partículas cargadas procedente del Sol que inunda todo el sistema solar. Estas partículas cargadas se encuentran con el campo magnético terrestre, donde son parcialmente capturadas.

Las auroras son bandas coloreadas que se pueden observar exclusivamente a elevadas latitudes, por lo que reciben el nombre de «polares». Se diferencian en «boreales» y «australes» según el hemisferio en que se forman.



Una sugestiva imagen que representa una aurora polar. El fenómeno es provocado por las partículas emitidas durante las fulguraciones solares.

LA SONDA MAGELLAN

La sonda Magellan, así llamada en recuerdo de Magallanes, el explorador del siglo XVI que fue el primero en dar la vuelta a la Tierra, fue lanzada por el transbordador el 4 de mayo de 1989 con el objetivo de trazar un mapa de la morfología de Venus. La misión fue un éxito completo.



Mientras se celebraba el quinto centenario del descubrimiento del Nuevo Mundo por Cristóbal Colón, un magnífico robot terrestre que llevaba el nombre de otro gran navegante de aquel tiempo, Magallanes, estaba explorando Venus, el planeta más próximo a la Tierra.

El cuadro del planeta que la compleja exploración nos ha permitido establecer puede considerarse como absolutamente inesperado por su riqueza en situaciones geológicas todavía increíblemente vivas.

CRÓNICA DE LA MISIÓN

Lanzada el 4 de mayo de 1989, la sonda Magellan llegó a Venus el 10 de agosto de 1990, cuando el motor de propulsante sólido de a bordo fue encendido para suministrar el impulso necesario para la maniobra de entrada en órbita venusiana.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA MISIÓN

El viaje de la sonda Magellan comenzó el 4 de mayo de 1989, cuando fue lanzada hacia Venus desde el transbordador estadounidense. La sonda llegó al segundo planeta del sistema solar el 10 de agosto de 1990. La Magellan, colocada en una órbita de 86° de inclinación, tardaba 3 horas y 25 minutos en realizar una rotación completa. La misión, en sus seis fases, terminó el 11 de octubre de 1994, cuando la sonda se precipitó dentro de la atmósfera una vez que la NASA hubo frenado intencionadamente su carrera para acercarla cada vez más al planeta. Se recogió información sobre las características gravitacionales de aproximadamente el 95% de Venus. El estudio morfológico, en cambio, cubrió un 98%.



El transbordador Atlantis, en órbita baja alrededor de la Tierra, ha soltado la sonda Magellan, que ha comenzado así su viaje de 15 meses hacia Venus. A diferencia de Fernando de Magallanes, que no sobrevivió a su exploración terrestre, la sonda llegó incólume a Venus y, pese a sufrir algunos problemas, felizmente resueltos, cartografió los detalles de su superficie, detectó las características geofísicas del interior del planeta y, al concluir su tarea, se zambulló en la atmósfera venusiana.

La órbita elegida era casi polar (la inclinación del plano de la órbita de la sonda respecto al plano ecuatorial del planeta era de 86°) y elíptica, con un periastro de 250 km y un apoastro de 8.070 km, con un tiempo de recorrido calculado en 3 horas y 25 minutos.

Las características de la órbita permitieron que la sonda terrestre explorara con su radar todo el planeta en menos de un año y medio terrestre, lanzando una señal y recogiendo el eco durante 37 minutos y 12 segundos en cada vuelta, correspondientes al período de máxima proximidad de la sonda a la superficie del planeta.

Debido a la precesión, el periastro de la órbita se desplazaba de tal modo que su proyección intersectaba la casi totalidad de la superficie del planeta en un tiempo igual

Antena de alta ganancia
Módulo con equipos científicos
Paneles solares
Módulo de propulsión
Cohete de propulsante sólido
Adaptador cohete IUS
Módulo de servicio
Adaptador cohete de propulsante sólido PAM

a un día venusiano (la rotación de Venus alrededor de su propio eje, retrógrada, se realiza en 243 días terrestres).

La Magellan era una sofisticada sonda, de 1.035 kg de peso, alimentada por paneles solares y baterías recargables, que llevaba un único instrumento, un radar que operaba en modalidad SAR («síntesis de apertura») como altímetro y como radiómetro, obteniendo unos ecos de retorno que podían interpretarse como imágenes, medidas de elevación y de temperatura de porciones reducidas de la superficie de Venus. Las imágenes se reconstruían invirtiendo los ecos de las señales SAR recogidas en cada órbita, correspondientes a una banda de superficie de 25 km de anchura situada en un ángulo prefijado respecto a la vertical de la sonda.

Las características de frecuencia de la señal estaban relacionadas con las características físicas de la superficie que la reflejaba; técnicos expertos descifraban en términos «fotográficos» estos datos y con el auxilio de ordenadores obtenían imágenes radar, con una resolución de 300 m en el suelo. Los datos altimétricos se obtenían enviando y detectando una señal a lo largo de la vertical y convirtiendo los tiempos de retraso entre el envío y la recepción en distancias recorridas; conociendo la órbita de la sonda y la posición del centro de masas de Venus, se podían transformar estas últimas en datos topográficos, con una resolución vertical de hasta 30 m.

Una única antena, de 3,7 m de diámetro, servía para el radar y para las telecomunicaciones con la Tierra. El sistema de radio servía también para obtener datos sobre la gravedad del planeta: las desviaciones de la sonda respecto a la órbita se reflejaban en la naturaleza de las señales de radio transmitidas.



El esquema de la izquierda muestra la trayectoria seguida por la sonda Magellan hasta llegar a Venus.

Estructura de la sonda Magellan. Esta sonda, con los resultados que ha obtenido, ha modificado sustancialmente nuestro conocimiento del planeta Venus.

GRANDES Y PEQUEÑOS OBJETIVOS

La misión tenía como objetivo mínimo operar durante un día entero al menos, del 15 de septiembre de 1990 al 15 de mayo de 1991, observando cerca del 84% de la superficie del planeta y obteniendo imágenes radar con una resolución del orden de 1 km; además, se esperaban datos que permitieran realizar la topografía del planeta con una resolución espacial de 50 km y vertical de 100 m. Este objetivo fue alcanzado con éxito. Concluido el primer ciclo, se puso en marcha el siguiente programa de exploración, la llamada «prolongación de la misión» *(extended mission).*



Imagen radar de la superficie de Venus obtenida a partir de los datos de la sonda Magellan, centrada a 90 grados de longitud este.

La decisión acerca de la prolongación de la misión se tomó después de haber evaluado las condiciones de la sonda y las disponibilidades financieras de la NASA. Se pasó así al segundo ciclo.

Durante dicho ciclo (15 de mayo de 1991-15 de enero de 1992) se obtuvo una cobertura prácticamente completa de la superficie del planeta, incluyendo la región del polo meridional, no observada anteriormente. En consecuencia, se decidió prolongar más aún la exploración.

En el tercer ciclo (16 de enero-14 de septiembre de 1992) se tomaron imágenes que permitieron una lectura estereográfica del planeta. En otras palabras, se obtuvieron imágenes en tres dimensiones de notable importancia para el estudio de las características geológicas, como las coladas de lava, las fracturas, etc.

El cuarto ciclo y una pequeña porción del quinto (15 de septiembre de 1992-24 de junio de 1993) estuvieron dedicados a medidas globales de la gravedad del planeta y a experimentos científicos.

El resto del quinto ciclo, hasta el 14 de enero de 1994, estuvo dedicado a una modificación de la órbita de la sonda, la cual, en 204 días, pasó de elíptica a circular (por medio del efecto de frenado producido por las capas más altas de la atmósfera de Venus). Se recogieron así, durante el sexto ciclo, unos datos radar y gravitatorios mucho más precisos que los que habían llegado hasta el momento. Una órbita casi circular, a una altura de 200 km, mejoró sensiblemente las posibilidades de construir un modelo geofísico de Venus.

En total, los datos obtenidos serán equivalentes a los que se espera de las sondas enviadas a Marte y las que se lanzarán a la Luna en los próximos meses o años. Se dispondrá así de una base homogénea para los estudios de planetología comparada.

Una órbita circular da la misma resolución en todas las latitudes, por lo que las regiones polares detectadas, como la Tierra de Ishtar y la gran depresión boreal de Atlanta, han sido estudiadas y analizadas con el mismo detalle que los altiplanos ecuatoriales del planeta.

Representación artística de la Magellan cerca de Venus; al fondo, el Sol.



LOS PRINCIPALES RESULTADOS DE LA MISIÓN MAGELLAN

1. El estudio de las imágenes de alta resolución obtenidas por la sonda Magellan ha permitido descubrir importantes indicios de cráteres de impacto, volcanes y formaciones geológicas que han alterado profundamente la superficie del planeta.

2. La mayor parte de la superficie de Venus está recubierta de material volcánico. Muchas son las estructuras ligadas a la actividad volcánica: extensas llanuras de lava, pequeños y grandes «domos» de lava y enormes volcanes en escudo.

3. Los cráteres de impacto son relativamente escasos, lo que indica que la superficie del planeta es joven, de edad no superior a los 800 millones de años.

4. La presencia de canales de lava de hasta 6.000 km de longitud demuestra que la lava de Venus debió de ser muy fluida y que fue emitida en gran cantidad.

5. Las típicas caracteristicas geológicas que se presentan en la Tierra, como las cadenas montañosas y las grandes fosas oceánicas, no se dan en Venus. Hay allí, en cambio, unos domos de lava llamados «coronas», producto del ascenso y la subsidencia del magma procedente del manto.

6. Pese a que Venus tiene una atmósfera gruesa, no se han encontrado en su superficie evidentes manifestaciones erosivas debidas al viento y el transporte de arena es limitado.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LOS VOLCANES DE VENUS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LAS ASOCIACIONES ESTELARES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

OCTANTE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

TRAJES ESPACIALES

EL USO DEL ESPACIO

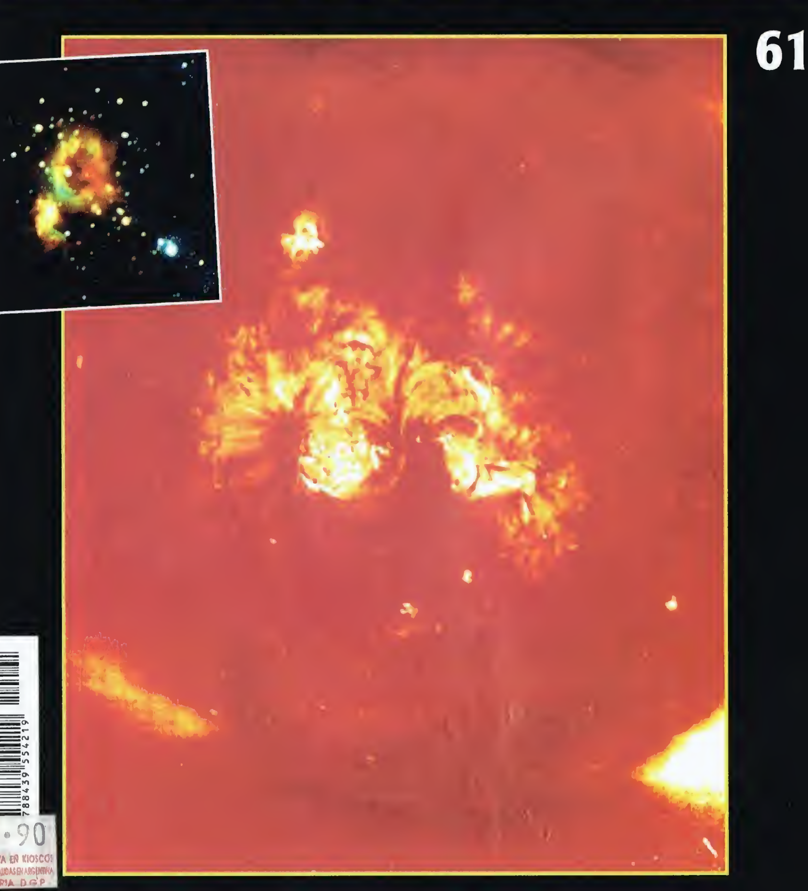
EL SATÉLITE SOHO Y LOS MISTERIOS DEL SOL



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

61



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

Nº PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

/ / / / / / / / /

/ / / / / / / / /

N.º de tapas que solicita: ________

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

LOS VOLCANES DE VENUS

Hay pruebas irrefutables de actividad volcánica en diversos planetas y satélites. Pero, sin duda alguna, Venus es el cuerpo del sistema solar que tiene más volcanes.

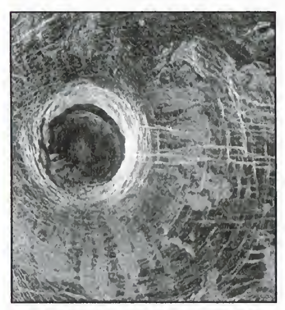


Actualmente, hay pruebas directas o indirectas de actividad volcánica presente o pasada en Mercurio, Venus, la Luna, Marte, los satélites Ío y Europa de Júpiter, y Tritón de Neptuno.

Pero el cuerpo celeste que muestra más actividad volcánica es Venus.

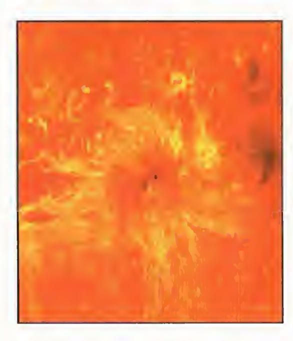
Venus posee el mayor número de volcanes de todo el sistema solar. Se han descubierto más de 1.600 grandes estructuras volcánicas y muchos conos volcánicos pequeñísimos (más de 200.000). Estos volcanes son de diversas formas, aunque hasta el momento ninguno ha resultado ser activo. A pesar de todo, nuestras informaciones están limitadas por la densa atmósfera que circunda el planeta.

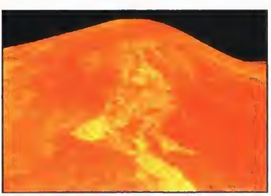
A pesar de algunas semejanzas aparentes, Venus es muy diferente de la Tierra. Las condiciones extremas que se dan en aquel planeta tienen dos efectos principales: por una parte, hay una ausencia total de agua tanto en la superficie como en la atmósfera, con nubes compuestas también por ácido sulfúrico y, por tanto, más pesadas que las



Arriba, una típica caldera de Venus, rodeada de una serie de fallas en anillo. El interior de la misma está formado por lava oscura eyectada después del colapso del volcán.

En esta reconstrucción tridimensional de la superficie de Venus, se ven al fondo los grandes volcanes Sapas y Maat.





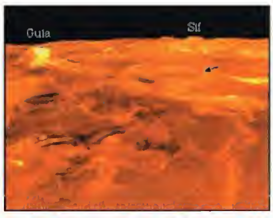
Arriba, el volcán Sif Mons. La larga colada y las paredes poco inclinadas hacen suponer que la lava es poco densa.



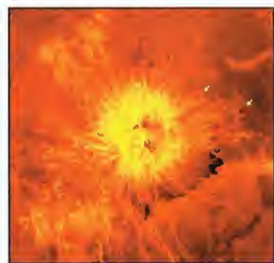
El mayor volcán del planeta Venus, Theia Mons (800 km de diámetro), se halla en la intersección de tres grandes fallas. La flecha del extremo superior indica un cráter cortado por una falla, que, por tanto, debería ser más reciente.

El volcán Ushas Mons, en el hemisferio sur (a la izquierda), tiene un diámetro de 500 km y una altura de 2.000 m. Pueden verse, en color claro, las coladas más recientes.

nuestras; por otra parte, la elevada presión atmosférica hace que los vientos alcancen velocidades menores. Estas dos condiciones han tenido una gran influencia sobre la superficie de Venus. El resultado ha sido que, por falta de agentes exógenos, las estructuras volcánicas parecen recientes, aunque en realidad no lo son.



La región Westeren Eistla es una enorme altiplanicie a 1.500 m de altura y con más de 2.000 km de longitud. Los objetos principales son los dos volcanes indicados arriba.



El volcán Sapas Mons es uno de los pocos de Venus que no se encuentran cerca de una falla. Se distinguen dos cráteres de impacto rellenados de lava.

EN VENUS NO HAY TECTÓNICA

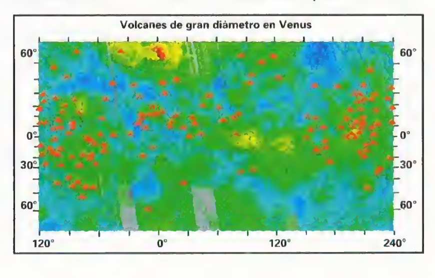
Venus no muestra trazas de una tectónica de placas: no hay cadenas lineales de volcanes ni tampoco pruebas claras de la existencia de zonas de subducción. A pesar de que las fallas y las grietas son corrientes, no se observa nada parecido a las dorsales mediooceánicas terrestres. La cartografía radar obtenida por la sonda Magellan ha mostrado, además, que sólo hay dos regiones que se elevan por encima de la altitud media de la superficie y, por tanto, susceptibles de compararse con nuestros continentes. Sin embargo, las dos regiones continentales de Venus no muestran un perfil que –análogamente a lo que ocurriría en la Tierra– haga pensar en un desplazamiento de los continentes escindidos de un supercontinente único (el llamado Pangea). Por consiguiente, si el vulcanismo en la Tierra se caracteriza por numerosas y grandes placas con un movimiento generalizado, el de Venus, en cambio, es un movimiento de carácter regional.

En Venus, el vulcanismo presenta sólo algunos de los diversos tipos de erupción que se dan en la Tierra. Prácticamente todos los fenómenos volcánicos se caracterizan por flujos de lava fluida; no hay signos de erupciones explosivas con formación de cenizas, y sólo raramente las erupciones son de lava muy viscosa. Estas condiciones resultan de la combinación de diversos factores. A causa de la alta presión existente, para eyectar de manera explosiva, la lava de Venus requiere un porcentaje de gas más alto que la terrestre. El principal gas que hay en la lava terrestre durante las erupciones explosivas es el vapor de agua, gas casi inexistente en Venus. Como último factor debemos tener en cuenta que, en la Tierra, la lava más viscosa y las erupciones más explosivas se producen en las zonas de subducción. La ausencia de tales regiones en Venus reduce la probabilidad de este tipo de erupciones.

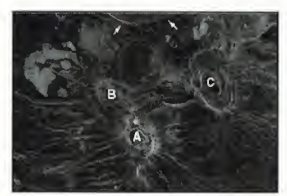
GRANDES VOLCANES EN ESCUDO

La mayor parte de los volcanes de Venus son de los llamados «en escudo». Esto se debe a la densidad de la lava que sale del manto del planeta. La baja densidad tiende a construir volcanes en escudo, que se caracterizan por conos volcánicos con un declive no muy acentuado y por una relación muy baja entre altura y anchura.

En Venus hay más de 150 grandes volcanes en escudo, con anchuras que oscilan entre los 100 y los 700 km, y alturas que pueden llegar a los 5,5 km. Para establecer una referencia, pensemos en el



A la derecha, mapa de la distribución de los grandes volcanes en Venus. Los triángulos rojos indican la posición de un volcán con diámetro mayor de 100 km.



Las letras indican tres volcanes típicos de Venus cuyas estructuras están cerca de grandes fallas.

volcán terrestre en escudo Mauna Loa, que tiene una base de 120 km y una altura de 8 km desde el fondo oceánico. Esto significa que los grandes volcanes en escudo de Venus son más anchos, pero más aplanados que los nuestros. El mayor volcán de Venus cubre casi la misma área que el volcán marciano Monte Olympus (unos 800 km). Por su inmensa altitud (27 km), el Monte Olympus es el mayor volcán del sistema solar.

Todos estos grandes volcanes en escudo se parecen a sus equivalentes terrestres. Están cubiertos por ríos de lava radial y tienen una ligera pendiente. En la mayoría de ellos hay una abertura central (una caldera) y, lo mismo que los volcanes hawaianos, debieron de formarse principalmente con basaltos, aunque en Venus están distribuidos de manera distinta. Los volcanes en escudo de Venus se distribuyen en toda la superficie y no se ven cadenas volcánicas lineales como las terrestres: esto prueba la ausencia de una tectónica de placas activa. Probablemente, los volcanes de Venus están relacionados con burbujas magmáticas del manto. La mayoría de los grandes volcanes en escudo no están ni en las regiones más bajas ni en las más altas. Además, hay zonas que presentan una mayor concentración volcánica. Se ignora el motivo de esta distribución en grupos, pero podría ser

Las fallas de la llanura de Lakshmi son anteriores a las coladas salidas de la caldera de Sacajawea (a la derecha) y, por tanto, han sido parcialmente rellenadas por la lava.





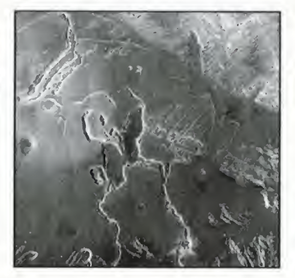
Uno de los grandes ríos de lava de la superficie de Venus. La anchura de estas estructuras puede llegar a ser de 300 km.

indicio de que las burbujas magmáticas estarían concentradas en las regiones caracterizadas por la fractura de la corteza. Estas zonas contienen una red de cañones y fallas que se entrecruzan.

PEQUEÑOS VOLCANES EN ESCUDO

Los pequeños volcanes en escudo son muy comunes en la superficie de Venus. Jamás se ha hecho una catalogación completa, pero podrían ser más de 100.000, algunos con un diámetro inferior a los 20 km. También estas estructuras están distribuidas en grupos. De éstos se han catalogado más de 550; algunos de ellos ocupan áreas que oscilan entre 100 y 200 km. Estos grupos están dispersados por toda la superficie, preferentemente en las llanuras y en las regiones poco elevadas. Son pocos los que alcanzan grandes alturas o se encuentran en zonas geológicamente complejas. En tales zonas, estos pequeños volcanes podrían haber quedado cubiertos por extensiones de lava más recientes. Las zonas de alta concentración de pequeños

Abajo, uno de los típicos canales de lava. Como puede observarse, estos canales, vistos desde arriba, no parecen muy diferentes de las estructuras ramificadas de los ríos terrestres.



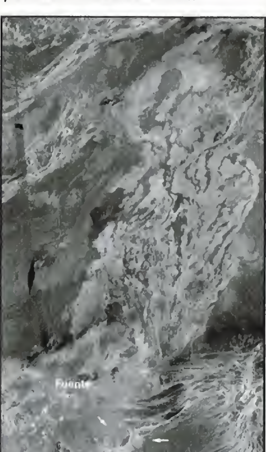
EL MAYOR VOLCÁN DE VENUS

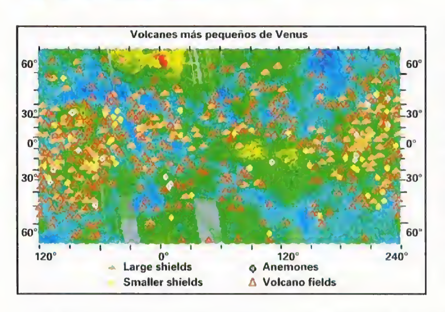
El mayor volcán de Venus es el Theia Mons. Tiene más de 4 km de altura y sus coladas de lava cubren un área de más de 800 km. Posee una caldera central oval de 75 km de longitud y 50 de anchura. Este volcán se halla en la conjunción de 3 grandes fracturas de la corteza, la más importante de las cuales tiene una anchura de más de 200 km (sólo 50 cerca del volcán). Las fracturas son profundas (hasta 3 km en las laderas del volcán) y probablemente se formaron simultáneamente con el Theia Mons. El cráter está cortado en el centro del borde de la fisura, lo que sugiere que el proceso de fractura ocurrió en un tiempo relativamente reciente.

volcanes serían, por tanto, muy antiguas y probablemente se remontarían a las primeras fases de formación de la superficie de Venus.

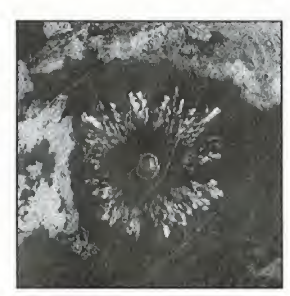
Los volcanes en escudo de tamaño intermedio son raros: de los 270 volcanes de 20 a 100 km de diámetro, sólo 70 son en escudo; los demás son estructuras especiales con diferentes tipos de lava.

En Venus, los ríos de lava tienen una fuente principal –indicada en la imagen–, pero también muchas secundarias debido a las anchas fisuras que se abren fácilmente en el suelo.





El mapa de la izquierda muestra la distribución completa de las estructuras volcánicas. Se señalan los de escudo (shields), *los que tienen una distribución de las coladas en forma de flor* (anemones) *y las zonas de alta densidad de pequeños volcanes en escudo* (volcano fields).



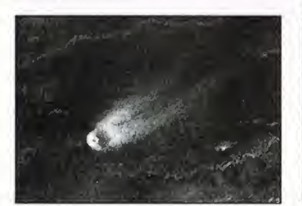
Por tanto, la mayor parte de los volcanes en escudo tienen un tamaño muy pequeño (menos de 20 km), y algunos de ellos muestran, a partir del centro, un conjunto de coladas de lava que recuerdan los pétalos de una flor.

Actualmente, la situación general de Venus hace pensar que en el planeta hay dos tipos diferentes de vulcanismo: uno a gran escala y otro a escala reducida. Estas dos escalas reflejan las diferencias de naturaleza en el volumen de material fundido que hay en el manto subyacente.

OTRAS ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS

A pesar de que los volcanes en escudo son los dominantes, en Venus también los hay de características distintas. Generalmente, están formados por coladas de lava muy viscosa y espesa, y pueden ser de tres tipos. El primero es el llamado «de cúpula plana»; es el más corriente de los tres. Lo mismo que los volcanes en escudo, también éstos se hallan esparcidos por toda la superficie, dispuestos en pequeños grupos. Pero, mientras que los volcanes en escudo se encuentran en grupos de al menos 20 estructuras, los de cúpula plana nunca forman grupos de más de 5 o 6 volcanes.

Pequeño volcán en escudo en una de tantas llanuras de la superficie de Venus. La cola brillante no es de origen volcánico, sino que se debe a los vientos.



Arriba a la derecha, un ejemplo de volcán con coladas que recuerdan los pétalos de una flor en la región del Atlas regio. Su diámetro es de 40 km.

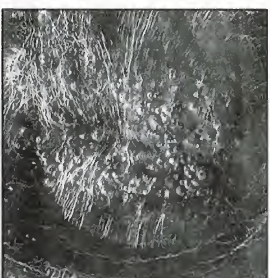
En general, este primer tipo –no en escudo– jamás se encuentra cerca de los grupos en escudo, sino en estructuras circulares de las tierras altas de Venus.

El segundo tipo lo forman las llamadas estructuras «en celosía» (verticales y no muy anchas). Estos volcanes están distribuidos de manera similar a los de cúpula plana y se encuentran muy alejados de los grandes volcanes en escudo. Varios de ellos se alzan en las proximidades de los del primer tipo. Algunos científicos sostienen que muchos volcanes en celosía son estructuras en cúpula modificadas posteriormente.

El tercer tipo se caracteriza por coladas de lava muy amplias y dispuestas en abanico. Se trata de volcanes muy raros, la mayoría de los cuales se localizan en una zona de las bajas llanuras meridionales. Su distribución no refleja ningún comportamiento particular, quizá porque son muy pocos los que se conocen; pero parecen presentar cierta semejanza con las coladas de lava más viscosas de la Tierra.

Como la lava que procede de los basaltos es en general muy fluida y diluida, estas tres categorías de volcanes no parecen ser de tipo basáltico. Sí podrían, en cambio, ser consecuencia de una lava con un alto porcentaje de cuarzo y granito. Se han propuesto algunas teorías que explican

Esta zona de alta densidad de pequeños volcanes está rodeada de una estructura en corona de fallas. Su diámetro es de 125 km.



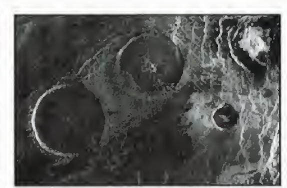


Arriba, una de tantas zonas de alta densidad de pequeños volcanes en escudo. En el centro se ve la estructura de una gran falla ramificada.

Abajo, otra zona de alta densidad de pequeños volcanes. En el centro, estructuras indistintas formadas por coladas sucesivas de lava.







A la izquierda, un grupo de volcanes de cúpula plana. Cada uno de ellos tiene un diámetro de unos 25 km y una altura de 750 m.

A la izquierda, dos de los mayores volcanes de cúpula plana en la región de Eistla. Las dos grandes estructuras tienen un diámetro de 65 y 22 km, respectivamente, pero ambas se yerguen sólo 1.666 m sobre las llanuras que las rodean.

el modo en que los basaltos muy ricos en gases pueden producir esta lava tan viscosa y densa. Por tanto, podría deducirse que la mayor parte de tales estructuras se halla sobre o cerca de las regiones más altas de Venus. Las consideraciones anteriores permiten creer que, efectivamente, los tres tipos de volcanes no en escudo son muy diferentes de sus equivalentes situados en los continentes terrestres.

RÍOS DE LAVA EN VENUS

Gracias al radar, se ha observado la presencia de grandes ríos de lava solidificada en la superficie de Venus. También en este caso los científicos dividen estos grandes ríos de lava en tres tipos distintos. En el primero, el flujo de lava solidificada se ha distribuido a manera de un río en avenida; en el segundo, a lo largo de canales menos anchos, y en el tercero, en calderas, las cuales, sin embargo, no tienen ni escudos ni conos.

RÍOS EN AVENIDA

Se han identificado más de 50 ríos de lava con longitudes que oscilan entre los 100 y los 700 km, aunque el más largo llega a los 1.000 km. Las anchuras son variables, pero llegan incluso a los 300 km. Estas estructuras se parecen mucho a los depósitos de lava basáltica terrestres y al fondo de los mares más jóvenes de la Luna. Normalmente se encuentran en los bordes de las llanuras más bajas, y la lava solidificada es fluida. La mayoría de estas formaciones está lejos de los grandes volcanes en escudo. Se piensa que estos ríos podrían haberse formado a finales del período en el que se crearon las grandes llanuras.

CANALES DE LAVA

En la superficie de Venus se han observado 200 canales de lava, la mayoría de los cuales están sobre o cerca de otras estructuras volcánicas. Generalmente, estos canales tienen una anchura que oscila entre 0,5 y 1,5 km. Sin embargo, su longitud varía mucho: mientras que en la mayor parte es inferior a los 400 km, algunos superan los 700 km. Venus tiene el canal de lava más largo del sistema solar. Con una longitud de unos 6.800 km, este canal es más largo que el río Nilo terrestre. Al igual que los ríos de lava del primer tipo, también estos canales de lava parten del borde de las llanuras. Muchos de ellos están integrados en grandes grupos y, en general, puede decirse que se parecen a las sinuosas estructuras lunares. Los canales más largos se diferencian de los lunares en que tienden a ser más rectos y anchos y a tener ramificaciones semicirculares como las de los grandes ríos terrestres. Esto sugiere que algunos de ellos podrían haberse formado durante un largo intervalo de tiempo a causa de una o varias erupciones.

CALDERAS

Estas estructuras son formaciones de lava arrojada durante erupciones. Las calderas son muy grandes, con una abertura oval que ha creado paredes de bordes bajos. A menudo están rodeadas por un anillo de fallas y graben. Según algunas teorías, las calderas se habrían formado cuando el suelo se abrió sobre cámaras magmáticas inferiores poco profundas. La mayoría de las calderas miden entre 40 y 80 km, pero algunas llegan hasta los 200 km de diámetro. Ninguna de ellas está en las llanuras más bajas, lo que hace pensar que en las llanuras no se formaron pequeñas cámaras magmáticas. De ser así, la lava habría ascendido en línea recta hacia la superficie y, a lo largo del tiempo, habría tenido pocas posibilidades de salir siempre por el mismo punto y de construír un cono. Éste podría ser el motivo por el cual en las llanuras más bajas los volcanes en escudo son pequeños. En suelos más elevados, además de calderas, hay grandes volcanes en escudo, ya que las cámaras magmáticas pueden ser mayores.

CONCLUSIONES

El hecho de que el vulcanismo dependa de la altura del suelo podría ser consecuencia de la presión atmosférica. En los suelos más bajos la presión es muy alta, 100 veces la terrestre. En tales condiciones, la lava posee unas características parecidas a las de la que es expulsada en las llanuras del fondo oceánico de la Tierra: la densidad es muy elevada y no contiene en su interior burbujas de gas.

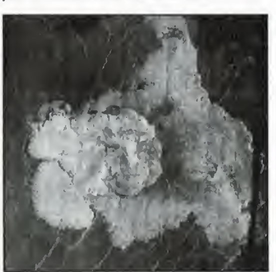
A mayores alturas la presión sobre la superficie es menor, lo que produce burbujas de gas durante la erupción. A tales alturas, las rocas son menos densas y esto permite que la lava forme un escudo (un relieve) en las repetidas erupciones que se producen siempre en el mismo punto.

La formación de conos es imposible si la lava no se condensa erupción tras erupción: en este caso se formará sólo una caldera.

Abajo, una extraña estructura en uno de los dos «continentes», la Tierra de Afrodita. Estas estructuras son bajas, pero muy grandes, y están siempre asociadas a unas fallas radiales características.

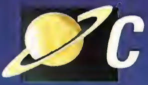


Abajo, el extraño volcán que se encuentra en Aino Planitia. Los bordes irregulares se elevan 1.000 m por encima de la llanura que lo rodea, pero el diámetro es de más de 100 km.



LAS ASOCIACIONES ESTELARES

Además de los cúmulos abiertos y los globulares, en la Galaxia se encuentran también las llamadas asociaciones estelares. Se cree que en su interior se formó el 90% de las estrellas, por lo que su estudio es fundamental para comprender las primeras fases evolutivas de los astros.



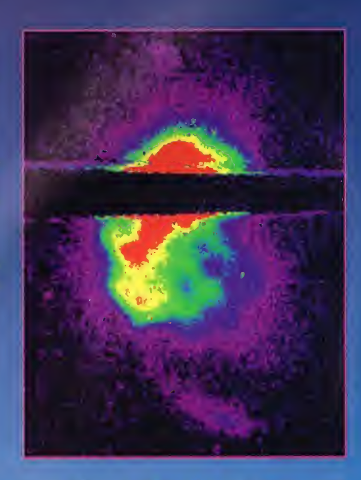
Como es sabido, dentro de las galaxias las estrellas tienden a unirse en grupos más o menos densos, como los cúmulos globulares (que comprenden centenares de miles de estrellas) y los cúmulos abiertos (que comprenden hasta varios miles). Pero, además de éstos, los astrónomos han identificado otro tipo de familias estelares: las asociaciones.

Las asociaciones estelares son grupos de estrellas del mismo tipo, bastante esparcidas por la bóveda celeste. Pueden distinguirse con bastante facilidad de los cúmulos: éstos son grupos relativamente densos, que en las fotografías celestes de gran campo destacan sobre las estrellas de fondo. Además, en los cúmulos, a diferencia de lo que ocurre en las asociaciones, las estrellas están unidas gravitatoriamente. Se estima que las asociaciones son tan numerosas que se calcula que en ellas se forma casi el 90% de las estrellas, mientras que el 10% restante se origina en los cúmulos. En realidad, es muy frecuente que los dos tipos de grupos convivan; incluso se conocen muchos casos de cúmulos insertados en asociaciones.

CLASIFICACIÓN DE LAS ASOCIACIONES

En astronomía se utiliza la palabra «asociación» para tres categorías distintas de objetos: las estrellas de tipos espectrales O y B (las más calientes), las nebulosas de reflexión y las estrellas T Tauri (por el nombre de su iniciadora). De aquí derivan los tres tipos de asociaciones, llamadas, respectivamente, OB, R y T. La característica común de estos objetos es su edad, muy joven, del orden de los 10 millones de años. Esto significa que todavía no han tenido tiempo de alejarse mucho de sus lugares de formación, motivo por el cual se cree que las asociaciones son lugares de formación estelar. Su estudio es importante precisamente porque podría ayudar a comprender los fenómenos que provocan este tipo de procesos y su papel en la evolución de la Galaxia en su conjunto.

Como se ha dicho antes, reconocer un cúmulo en una fotografía celeste es bastante fácil. Reconocer las asociaciones ya lo es menos, puesto que su búsqueda exige recurrir al análisis espectroscópico, especialmente para las asociaciones OB y T. Los espectros de las primeras se caracterizan por unas intensas rayas de absorción del hidrógeno y del helio, que indican una alta temperatura superficial. En cambio, las estrellas de las segundas tienen



A la derecha, imagen de la nebulosa que rodea la estrella T Tauri, iniciadora de una clase de astros jóvenes de pequeña masa, en fase de presecuencia principal. Esta estrella, quizá doble o triple, todavía está rodeada de la materia de la que se formó. La zona oscura que atraviesa la imagen es una máscara utilizada para oscurecer la luz de la estrella, que, en cambio, pone de manifiesto los débiles detalles de la nube de polvo y gas.

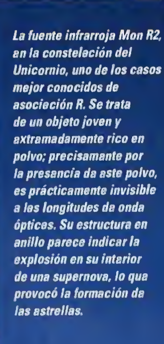


A la izquierda, el doble cúmulo abierto de h y χ Persei, que representa la cabeza del personaje mitológico que salvó a la princesa Andrómeda. A su alrededor hay una asociación OB. Situados a una distancia de unos 8.000-10.000 a.l. de la Tierra, están constituidos preferentemente por estrellas de los tipos espectrales O, B y A, además de estrellas gigantes rojas y anaranjadas de tipo K y M.

como signo distintivo intensas líneas de emisión del hidrógeno y del calcio, elementos que probablemente se forman dentro de sus cromosferas o en los discos de materia que aún rodean estas jóvenes estrellas. Un ejemplo de asociación OB es la que se localiza en la región situada alrededor del doble cúmulo de Perseo.

El razonamiento explicativo de las asociaciones R es distinto. Tales asociaciones se caracterizan por nebulosas de reflexión y pueden reconocerse precisamente por la nebulosidad que envuelve sus estrellas. La luz de estas nebulosas está producida por reflexión de la luz estelar provocada por los granos de polvo que hay alrededor de las estrellas. Naturalmente, las estrellas más calientes son las que más producen las nebulosas de reflexión, ya que ionizan los átomos que las componen. Las observaciones han mostrado que se trata de estrellas de tipos espectrales comprendidos entre B2 y A0, con temperaturas superficiales superiores a los 10.000 grados.

Hasta ahora se han catalogado más de cien asociaciones, con tamaños que llegan hasta los 600 a.l. Un catálogo muy importante que las recoge es el *Catalogue of Cluster and Association*, compilado por G. Alter, J. Ruprecht y V. Vanysek (Budapest, 1970). Existe también el catálogo de Herbig y Bell (1988) para las asociaciones T.

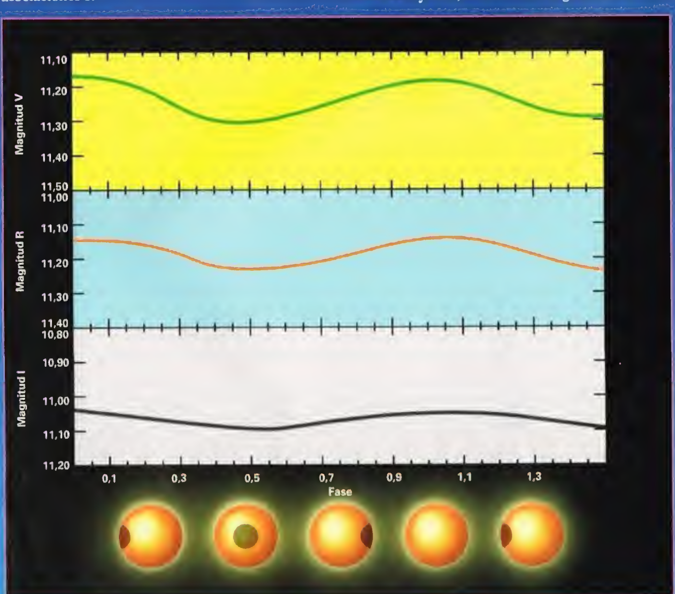


La fuente infrarroja Mon R2, en la constelación del Unicornio, uno de los casos mejor conocidos de asociación R. Se trata de un objeto joven y extramadamente rico en polvo; precisamente por la presencia de este polvo, es prácticamente invisible a las longitudes de onda ópticas. Su estructura en anillo parece indicar la explosión en su interior de una supernova, lo que provocó la formación de las estrellas.

Las estrellas de las asociaciones tienden a alejarse del centro de estas estructuras a velocidades del orden de los 10 km/s. Por tanto, a diferencia, por ejemplo, de los cúmulos globulares, no son estables.

ASOCIACIONES Y NACIMIENTO DE LAS ESTRELLAS

Las estrellas de los primeros tipos espectrales, como las O y las B, son estrellas de gran masa



Gráficos sobre la medida del período de rotación de una estrella T Tauri. Estos astros son, como se dice en argot, «rotores rápidos», y sus períodos pueden medirse fotométricamente. La técnica ilustrada por estos gráficos es la de «modulación de las manchas». Si en la superficie de la estrella hay una mancha, ésta producirá, girando junto a la estrella, una ligera variación de su luminosidad, que en este caso se mide en tres longitudes de onda diferentes.

NUNCA SOLAS

Actualmente parece aceptarse que la mayoría de las estrellas se forman en grupos más o menos poblados. En ellos desempeñan un papel importante las asociaciones, que incluyen estrellas jovencísimas, generalmente de masa bastante consistente. Aunque no es fácil identificar en el firmamento este tipo de grupos estelares, las modernas observaciones empiezan a dar interesantes resultados.

(indicativamente, entre 10 y 50 masas solares) y de evolución muy rápida. Se cree que las estrellas T Tauri, con masa entre una décima parte y tres masas solares, son jóvenes, en una fase evolutiva presecuencia principal. Esto es lo que sugieren varios indicios, entre ellos su presencia dentro de cúmulos jóvenes, la gran abundancia de litio y su intensa actividad magnética, deducida de las observaciones. Además, están rodeadas de discos de materia, de los cuales cabe pensar que pueden formarse sistemas planetarios. Finalmente, también las componentes de las asociaciones R parecen ser muy jóvenes, ya que suelen estar próximas a estrellas O y B y rodeadas de materia interestelar muy densa. Algunas, conocidas como estrellas Herbig Ae y Be, presentan también líneas de emisión en sus espectros (la «e» al lado del tipo espectral indica esta característica). Sus masas, entre 3 y 10 veces la del Sol, son intermedias entre las masas de las OB y las T Tauri.

Las teorías parecen indicar que las asociaciones constituyen el lugar en el que nace la mayor parte (casi el 90%) de las estrellas. En las OB nacerían las de masa mayor; en las R, las de masa intermedia, y en las T, las de masa pequeña. Muchas veces, los tres tipos de asociaciones ocupan la misma región celeste (esto puede observarse en la constelación de Orión), pero no es una regla fija. Sin embargo, el hecho de que haya asociaciones T sin las correspondientes OB sugiere que, en ausencia de estrellas de gran masa, pueden formarse otras de masa pequeña. En cambio no se sabe que sea

Abajo, una espléndida imagen de 30 Doradus, una gran región de hidrógeno ionizado situada en la Gran Nube de Magallanes, que muestra una densa nebulosidad asociada a un cúmulo de estrellas jóvenes. Abajo a la derecha se ve la supernova 1987A.





Arriba, la Pequeña Nube de Magallanes. Tanto en ella como en la Gran Nube de Magallanes es posible identificar regiones de reciente formación estelar y grandes nubes de gas ionizado y polvo que, cuando se trata de las galaxias externas más próximas a la Vía Láctea, son muy utilizadas para estudios de comparación con los objetos de nuestra Galaxia. Más difíciles, cuando no imposibles, son los estudios con galaxias más lejanas, demasiado débiles.

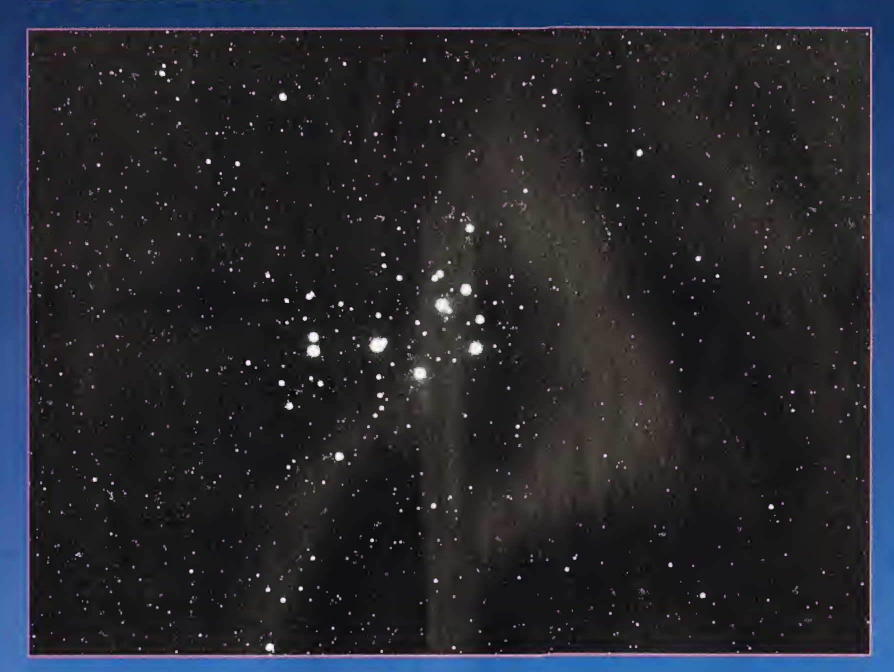
posible lo contrario. También se conoce el caso de una T Tauri aparentemente aislada, la estrella TW Hya. Aplicando estas consideraciones al Sol, cabría preguntarse en qué tipo de asociación se formó nuestra estrella; pero aún no tenemos la suficiente información para responder a esta pregunta.

LAS ASOCIACIONES R

Este tipo de asociaciones, en las que se forman estrellas de masa intermedia, es útil a los astrónomos para el estudio de las nebulosidades que llevan asociadas. En realidad, las estrellas de secuencia principal que contienen (y cuyas características físicas se conocen exactamente mediante la observación de estrellas similares en otros lugares de la Galaxia) permiten estudiar las nubes en las que están inmersas. Especialmente es importante determinar la «extinción» que producen estas nubes, es decir, la absorción de la luz que las atraviesa, en función de la longitud de onda de la propia luz. Este fenómeno se llama «enrojecimiento» porque produce un



A la derecha, una imagen de la fuente infrarroja GGD27, tomada con un moderno dispositivo de detección aplicado a un telescopio de 2,1 m de diámetro. Este objeto, lo mismo que Mon R2, muestra una asociación de estrellas jovencísimas rodeadas por una capa de polvo.



desplazamiento de la longitud de onda de la luz hacia el rojo. El resultado de estos estudios indica que el enrojecimiento es menor en las regiones de formación estelar, como las asociaciones, que en el espacio interestelar normal. Esto se debe, probablemente, a la presencia en aquellas regiones de una enorme cantidad de granos de polvo de gran tamaño y a la escasez relativa de granos de pequeño tamaño.

Una vez determinada la distancia de las nubes, se ha observado que éstas se distribuyen mayoritariamente en tres grupos de forma alargada, que seguramente señalan fragmentos de brazos de la Galaxia.

Se conocen al menos dos casos de asociaciones R: los de CMa R1 y Mon R2, donde aparece una estructura en anillo que podría sugerir que la formación de estrellas ocurrió principalmente en puntos bien definidos a lo largo del borde del anillo mismo. Obviamente, esta estructura recuerda la forma de los remanentes de supernova y, por tanto, es posible que, tal como durante mucho tiempo se ha supuesto, la formación de nuevas estrellas tuviera su origen en la explosión de una estrella como supernova, con ondas de choque que habrían comprimido la materia.

LAS ASOCIACIONES T

Como se ha dicho, se cree que las asociaciones T constituyen el lugar de formación de casi el 90% de las estrellas de masa menor o igual a tres veces la del Sol. La asociación T mejor estudiada, porque es la más próxima, se encuentra en el Toro, a unos 520 a.l. de la Tierra.

Las observaciones recientes han llevado a importantes descubrimientos sobre este tipo de asociaciones. Antes se creía que las principales

Imagen de uno de los objetos celestes más famosos: el cúmulo abierto de las Pléyades, en la constelación del Toro. Alrededor de las estrellas más brillantes se ve la nebulosidad que todavía las rodea y que demuestra su edad joven.

ASOCIACIONES ESTELARES EN LAS NUBES DE MAGALLANES

Además de las asociaciones que hay en nuestra Galaxia, la Vía Láctea, los astrónomos han buscado estructuras análogas en las galaxias externas. En este sentido, la mayoría de los estudios derivan de las observaciones de las Nubes de Magallanes, que son las dos galaxias externas más próximas a la nuestra y que, por tanto, se prestan a observaciones detalladas. En la zona de la mayor región HII (es decir, de hidrógeno ionizado) de la Gran Nube, llamada 30 Doradus, se han encontrado centenares de estrellas masivas, y en la región HII llamada NGC 346, de la Pequeña Nube, hay muchas estrellas de masa superior a 25 masas solares. Se trata, pues, de estrellas O de color azul, cuyo estudio permitirá mejorar los conocimientos sobre estrellas de gran masa de las Nubes de Magallanes, las cuales se utilizan luego como patrones de luminosidad para la determinación de la distancia a estas galaxias y a las más alejadas.



POBLACIONES ESTELARES Y ASOCIACIONES

El concepto de «poblaciones estelares» fue introducido por Walter Baade hace más o menos medio siglo. Baade se dio cuenta de que había estrellas, pero también estructuras más complejas, como los cúmulos, que podían clasificarse de acuerdo con su edad. Esta diferencia se reflejaba también en una distribución diferente en las diversas zonas de la Galaxia. Esto le llevó a definir dos categorías, llamadas Poblaciones I y II, a las cuales pertenecen, respectivamente, los objetos más jóvenes y los más viejos. Medidas cada vez más finas han permitido subdividir ambas categorías. Ejemplos de Población II son los cúmulos globulares y las variables RR Lyrae. A la Población I «media» pertenecen las estrellas del disco de la Galaxia, las nebulosas planetarias y las novas. Las asociaciones pertenecen a la Población I «extrema», es decir, están entre los objetos más jóvenes del universo, junto con los cúmulos abiertos, las estrellas azules OB luminosas y la materia interestelar.

componentes de las asociaciones T eran las estrellas T Tauri, astros de tipo solar, todavía en una fase inicial de su evolución, en cuyos espectros se observan fuertes líneas de emisión del hidrógeno, y que se colocan en la parte derecha extrema del diagrama de Hertzsprung y Russell. Además, se observa la presencia de nubes moleculares de más de 100.000 masas solares, llamadas así porque en su interior se detecta la presencia de moléculas simples, como el monóxido de carbono, el NH_3 y el H_2CO.

Pero las observaciones de los satélites a longitudes de onda del infrarrojo (IR) y de los rayos X han mostrado que hay también otros componentes. En IR se ven estrellas jóvenes completamente inmersas en las nubes e invisibles ópticamente. Se localizan principalmente en las zonas más densas de las nubes, donde recientemente se formaron (o donde se están formando). Se trata probablemente de algunos de los objetos más jóvenes jamás observados, con edades del orden de los 100.000 años.

Además, las observaciones a longitudes de onda cortas han puesto de manifiesto que hay un buen número de estrellas T Tauri que presentan una intensa emisión de rayos X. En tales casos, se habla de T Tauri «desnudas» o «débiles». Tienen ciertas características comunes con las T Tauri normales, como las rayas de emisión del hidrógeno, a pesar de que son de intensidad inferior. Por otra parte, hay indicios que hacen suponer que, a diferencia de las normales, las T Tauri desnudas no tienen un disco de materia circumestelar (de ahí su calificativo de «desnudas»). Pero ambos tipos tienen en común su edad joven. Es posible que las T Tauri desnudas representen una fase evolutiva posterior a la del tipo clásico, a pesar de que parece que tal evolución se produciría a velocidades diferentes en cada caso y en estrellas de masa similar. Una hipótesis supone que en la evolución interviene algún otro parámetro físico de la estrella, aparte de su masa, como por ejemplo su velocidad de rotación o la intensidad de su campo magnético. En efecto, las T Tauri desnudas parecen tener campos magnéticos muy consistentes, campos que generan grandes «manchas estelares» (análogas a las solares), que llegan a cubrir del 30 al 40% de su superficie y cuyo tiempo de vida es de varios años. Esta actividad magnética disminuye con el tiempo; nuestro Sol tiene una actividad de este tipo relativamente baja, compatible con su considerable edad: unos 5.000 millones de años. Las observaciones X indican, además, que las T Tauri tienen gases coronarios muy calientes, a temperaturas del orden del millón de grados, y que en ellas se generan brillos visibles tanto en X como ópticamente.

Hoy se considera que las T Tauri desnudas constituyen el componente estelar más numeroso de las asociaciones T.

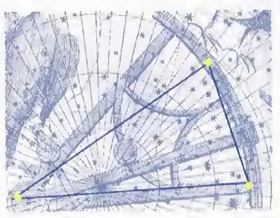


A la derecha, el cúmulo abierto M6, en la constelación del Escorpión. Por su forma característica, se llama «la mariposa». Se extiende en una amplia zona, aproximadamente como la de la Luna llena, y ya se encuentra citado en el Almagesto *de Tolomeo. Los cúmulos abiertos representan esencialmente una evolución de las asociaciones y comprenden estrellas que, aunque jóvenes, han llegado en general a la secuencia principal.*

Fotografía del cúmulo estelar asociado a la nebulosa NGC 2024. Estamos en la constelación de Orión, cerca de la estrella Zeta Orionis. En este complejo nebular, extremadamente abigarrado, se encuentra también la celebérrima nebulosa Cabeza de Caballo.

OCTANTE

La más meridional de las constelaciones contiene sólo estrellas de cuarta magnitud o superior. Al igual que muchas otras, fue introducida a mediados del siglo XVIII por el abate francés Lacaille.



La constelación del Octante representa un instrumento usado antiguamente para hallar la posición de las estrellas en la bóveda celeste.



La constelación del Octante es el análogo meridional de la Osa Menor, ya que contiene el polo Sur celeste, aunque no posee una estrella brillante como la Polar que indique con precisión este importante punto astronómico.

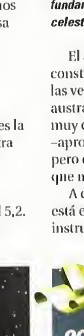
CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

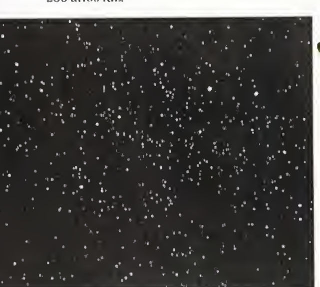
Si nos encontrásemos exactamente en el polo Sur, la constelación del Octante estaría justamente en el cenit, sobre nuestras cabezas. Pero para hallar esta constelación desde otros lugares del planeta, podremos colocarla –no sin cierta dificultad a causa del débil brillo de sus astros– a medio camino entre el Pavo y la constelación de la Mesa.

ESTRELLAS PRINCIPALES

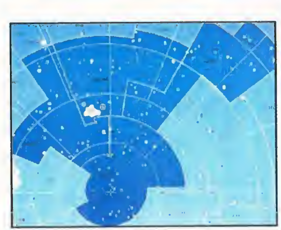
Curiosamente, la estrella más brillante es la que en los atlas celestes figura con la letra Nu, y su magnitud es de 3,8. Este astro, a 64 años luz de la Tierra, es de color anaranjado.

Alfa, en cambio, es sólo de magnitud 5,2. Su color es blanco y nos separan de ella 250 años luz.





La región del firmamento ocupada por el Octante no presenta estrellas muy luminosas, sino sólo astros de cuarta magnitud como máximo.



La zona del polo Sur celeste no muestra estrellas particularmente luminosas. Por tanto, es bastante difícil poder identificar este punto de fundamental importancia en las coordenadas celestes.

El astro más importante de la constelación es, sin duda, Sigma, que hace las veces de estrella Polar en el hemisferio austral. En realidad, esta estrella no está muy cerca del polo Sur celeste –aproximadamente a 1° de este punto–, pero es la estrella detectable a simple vista que más se le acerca.

A diferencia de la estrella Polar, Sigma está en el límite de la observabilidad sin instrumentos, ya que su magnitud es de 5,5.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

OCTANTE

El Octante forma parte del grupo de constelaciones introducidas por el abate Lacaille para colmar los vacíos del firmamento meridional. Al igual que otros grupos australes, como el Sextante o el Telescopio, el Octante nos recuerda un instrumento usado por los astrónomos. Este instrumento fue inventado por Hadley en 1731 y debía de servir de ayuda a los navegantes, que utilizaban mucho las estrellas para fijar posiciones en el mar. Posteriormente fue sustituido por el sextante.

La luminosidad de Sigma varía algunas centésimas de magnitud en el lapso de unas pocas horas.

En el Octante hay también una estrella doble, Lambda (magnitud 5,4), formada por un par de astros de magnitudes 5,5 y 7,8, de color anaranjado y blanco, separados por un ángulo de 3". Para distinguirlos basta un instrumento pequeño.

DÓNDE BUSCARLA

OCTANTE

Por hallarse en las proximidades del polo Sur celeste, la constelación del Octante es circumpolar para el hemisferio austral del planeta. En rigor, esta afirmación es cierta para todas las localidades más meridionales de 15° de latitud sur.

El Octante abarca una región del cielo comprendida entre –75 y –90° de declinación, aproximadamente.

Una estrella variable es Épsilon, que oscila de manera más o menos regular entre las magnitudes 4,6 y 5,3 en unos 55 días.

Hay también estrellas variables de largo período.

Entre ellas se encuentra R, cuya luminosidad oscila entre las magnitudes 6,4 y 13,2, con un período de 405 días. Se trata de una estrella similar a la Mira de la Ballena, de color rojo.

En lo que se refiere a enumeración de objetos celestes en la constelación del Octante, hay que decir que no contiene ninguno digno de mención para la observación telescópica.


OCTANTE
Delta
Sigma
Beta
Lambda
Nu
Alfa
0h
22h
20h
18h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Polo Sur celeste
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

TRAJES ESPACIALES

La imposibilidad para el hombre de vivir fuera de la atmósfera sin el uso de un traje apropiado ha hecho necesario perfeccionar al máximo este instrumento indispensable para la investigación astronáutica. Desde los primeros trajes que impedían casi totalmente los movimientos, se ha pasado a otros muy confortables que permiten trabajos de precisión en el vacío total.



Todos hemos visto las sugestivas imágenes de los paseos espaciales realizados por los astronautas estadounidenses, europeos y rusos. Sus movimientos en el espacio, fuera de un transbordador o de la MIR, por ejemplo, quizá durante la reparación de un satélite o la recuperación de instrumentos alojados en compartimentos especiales de la estación espacial rusa, sólo han sido posibles porque el cuerpo humano estaba protegido de los rayos ultravioleta, del calor y del frío, así como de todo tipo de radiaciones gracias a los trajes que llevaban los astronautas. Desde los primeros días de la astronáutica hasta hoy, estos trajes, como todo, han experimentado una enorme evolución. Sin embargo, actualmente los astronautas sólo usan los trajes espaciales en momentos muy concretos de su viaje: durante la partida o el retorno a la Tierra, durante los paseos espaciales o en caso de problemas a bordo de las cápsulas o en la estación Skylab. Retrocediendo en el tiempo, digamos que la fiabilidad de las cápsulas Mercury y Gemini no era suficiente para permitir que los astronautas viajaran por el espacio, incluso estando dentro de los habitáculos, sin sus trajes espaciales. Sólo con las misiones Apollo los trajes se usaron únicamente durante la partida y el retorno a la Tierra y para pasear por la Luna.

MEJORAS CONSTANTES

La función más importante de estos trajes, que están presurizados y alimentados con oxígeno para la respiración, es proteger el organismo humano contra fallos imprevistos en el sistema ambiental de la cápsula, lo cual provocaría la muerte instantánea del astronauta.

En las cápsulas Apollo, mucho más evolucionadas respecto a las Mercury o las Gemini, había sistemas de control ambiental tan perfeccionados –y con muchos elementos duplicados– que permitían a los tres pasajeros quitarse el traje en condiciones de máxima seguridad.

En el transbordador, el verdadero traje espacial sólo sirve para los paseos extravehiculares por el espacio; tanto en el despegue como en el aterrizaje, la tripulación viste trajes mucho más ligeros.

Los primeros trajes espaciales para las misiones Mercury nacieron de una mejora del traje a presión Mk-IV usado por los pilotos de los reactores de la marina militar estadounidense. Obviamente, fue modificado y reforzado en diversos puntos, de manera que el primer traje espacial estadounidense, una vez presurizado, resultaba una vestimenta bastante rígida que permitía escasos movimientos. Sin embargo, era adecuado para el tipo de misiones en las que, entre otras incomodidades, el astronauta no tenía mucho espacio para moverse, ya que debía permanecer sentado en su lugar de pilotaje.

Con la preparación de los vuelos Gemini, cambiaron los trajes de acuerdo con la experiencia acumulada hasta aquel momento en vuelos anteriores.



A la derecha, el traje lunar, completado con guantes, botas y mochila de supervivencia. La escafandra pesaba en la Tierra más de 65 kg; en la Luna, a causa de la escasa fuerza de gravedad, su peso se reducía a poco más de 10 kg. En cualquier caso, la posibilidad de movimiento era muy limitada y, precisamente por esto, más de una vez los astronautas se cayeron, por fortuna sin consecuencias graves.



Edwin E. Aldrin, piloto del módulo lunar Apollo 11. El casco lunar era una de las partes más completas e importantes de la indumentaria. La visera externa estaba recubierta por una fina capa de oro que reflejaba gran parte de la luz solar. A los lados, dos viseras, extraíbles por la parte posterior del casco y regulables, podían delimitar el campo visual. De todas maneras, el astronauta podía dirigir la mirada dentro de un ángulo máximo no superior a los 170°.

El nuevo traje espacial estaba formado por cuatro capas de materiales diversos y poseía conducciones para el oxígeno, que servían para la ventilación y la respiración. Funcionaba bien en vuelos de corta duración, pero, cuando en la cuarta misión Gemini se programó el primer paseo espacial, también el traje hubo de modificarse para proteger al astronauta de los extremados cambios de temperatura y de posibles impactos de meteoritos.

El casco tenía un segundo visor a manera de pantalla contra la violenta radiación solar. A pesar de las mejoras, los astronautas dijeron que la comodidad seguía siendo relativa en los vuelos de larga duración. Por tanto, para la misión Gemini-VII, que hubo de aplazarse 14 días, se preparó un nuevo traje más ligero que los anteriores, hecho con materiales más blandos, que permitió prescindir del casco durante la permanencia en órbita. Así, el grado de libertad aumentó considerablemente. A pesar de todo, las tripulaciones sugirieron eliminar los trajes en los vuelos de larga duración para evitar incomodidades. Así se hizo en las expediciones Apollo hacia la Luna, en las prolongadas permanencias en el laboratorio orbital Skylab y, finalmente, en el transbordador.

EL TRAJE PARA EL DESEMBARCO LUNAR

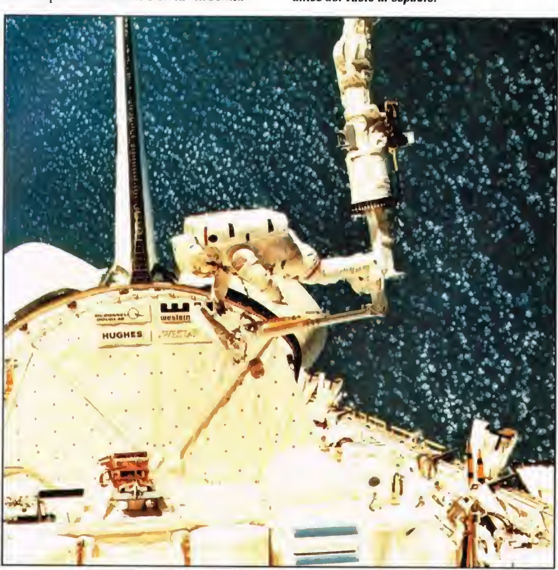
La fábrica de los trajes espaciales surgió casi de la nada en Dover, una pequeña población no lejos de Washington que, más que una fábrica de objetos astronáuticos, parece una sastrería muy especial, un laboratorio mecánico de precisión y una industria de ciencia ficción: todo en un mismo y gran edificio.

Esencialmente, los trajes ideados para las primeras exploraciones lunares eran pequeñas astronaves confeccionadas a medida, en el sentido de que debían permitir al astronauta que estaba dentro vivir y moverse, ver y hablar, pensar y trabajar en un ambiente hostil que en nada se parecía al de la Tierra. Los elementos que permiten la vida (sobre todo el aire, la temperatura y la presión) se recrearon artificialmente en aquellos extraños trajes.

Los problemas que debían resolver los trajes en la Luna eran muchos, algunos de ellos bastante complejos. Como es obvio, la escafandra lunar tenía que ser hermética e ir provista de un dispositivo que evacuara el calor emanado del cuerpo y lo dispersara en un aparato contenido en la «mochila» que el astronauta llevaba a la espalda durante los paseos.

En primer lugar, el explorador lunar debía ponerse sobre el cuerpo desnudo una especie de *maillot* de nailon, similar a una red, que llevaba en contacto con la piel un sistema de tubos de vinilo, dentro de los cuales circulaba un líquido mantenido a la temperatura justa mediante un instrumento contenido en la mochila. Por debajo y por encima de esta prenda se ponía unos «pañales» especiales para los desechos sólidos y líquidos del organismo. Además del circuito hidráulico de enfriamiento, el traje llevaba un sistema de ventilación (una emisión de oxígeno que circulaba continuamente y que continuamente era purificado) para mantener el cuerpo seco. Era una

Los trajes de los astronautas constituyen, en realidad, unos gigantescos rompecabezas con un peso total de 113 kg. Son el resultado del trabajo de 80 industrias que pueden ver los resultados de sus esfuerzos conjuntos sólo cuando los astronautas transmiten imágenes de sus paseos espaciales. La NASA posee 17 trajes espaciales que sirven para el 95% de los astronautas actualmente en actividad. Para el restante 5% se hacen pequeñas modificaciones antes del vuelo al espacio.



1



2



3



Algunas fases del proceso que sigue un astronauta para vestirse. Primero se coloca una prenda que lleva el sistema de refrigeración y ventilación (1), luego la parte inferior (2) y después la parte superior (3).

especie de «soplo» particularmente enérgico en la zona del casco. Una avería en las viseras a causa del aliento o del sudor hubiera sido un desastre.

EL CASCO LUNAR

El casco y los guantes completaban el equipo de desembarco.

El casco lunar se colocaba sobre el casco normal, llamado coloquialmente «pecera», y tenía dos viseras abatibles y elevables como las celadas de los yelmos medievales.

La visera externa podía reflejar el 82% de la luz solar, que, en la Luna, donde no hay atmósfera, es deslumbrante, hasta el punto de provocar la ceguera. El efecto de filtro era tan grande que se podía fijar sin ningún peligro una potentísima fuente luminosa a una distancia de dos pasos, una fuente de luz que, contemplada a través de unas gafas ahumadas corrientes, produciría graves lesiones en el ojo. Además, a los lados del casco había dos superficies móviles que podían desplazarse hacia adelante o hacia atrás para delimitar a voluntad el campo de visión lateral; algo así como las anteojeras de los caballos.

Todos estos movimientos (de las viseras y de las anteojeras) eran muy sencillos, ya que bastaba con que el astronauta oprimiera las aletas salientes incorporadas a los filtros, cosa que podía hacer con el pulgar o con la «abertura» de la mano enguantada.

También los guantes lunares estaban fabricados con una técnica muy avanzada. A pesar de la complejidad de su estructura, de que estaban presurizados y de que tenían robustos refuerzos de acero en la palma, permitían recoger con bastante facilidad una pequeña moneda de una superficie lisa, como, por ejemplo, del tablero perfectamente abrillantado de una mesa.

EL TRAJE PARA LOS PASEOS ESPACIALES

Terminadas las expediciones lunares, la atención de la exploración espacial se centró en los vuelos circunterrestres, efectuados, por parte estadounidense, con los transbordadores espaciales, o, por parte rusa, con las Soyuz. La reparación de satélites en órbita (es famosa la que, por dos veces, se ha efectuado en el telescopio espacial Hubble), los experimentos fuera de la estación espacial rusa MIR y, en el futuro, la construcción de la Estación Internacional Alpha, han hecho necesaria la fabricación de un traje espacial menos dispendioso que el lunar, que pudiese ser utilizado por varios astronautas en varios vuelos, pero que, a la vez, resultara seguro y, sobre todo, más manejable.

El traje actual garantiza poder trabajar con libertad en el cosmos, sin cordones umbilicales para el aprovisionamiento de oxígeno y energía eléctrica. El concepto general es totalmente distinto del que imperó en el pasado. Ahora, el traje se divide en tres partes fundamentales: el tronco inferior, que acaba en la cintura, como un pantalón normal; el tronco superior, que debe vestirse desde abajo, y finalmente el casco.

El tronco superior va unido a una mochila que contiene, como en los trajes lunares, sistemas de regeneración del aire, reservas de oxígeno y de agua para beber, aparatos de radio y telecomunicación, así como instrumentos electrónicos de control, entre ellos un ordenador que gestiona toda la vestimenta y verifica sus características cinco veces por segundo.

Pero el astronauta también puede supervisar el funcionamiento interviniendo, si es necesario, a través de una serie de indicadores y controles dispuestos en el pecho.

Bajo el traje, naturalmente, el astronauta sigue llevando un contenedor para la orina y un recubrimiento de nailon recorrido por metros de tubitos con agua para enfriamiento o calentamiento, según la

El astronauta continúa vistiéndose. Se pone los guantes (4) y, finalmente, el casco (5); si es necesario, también se coloca la «mochila de propulsión» (6).

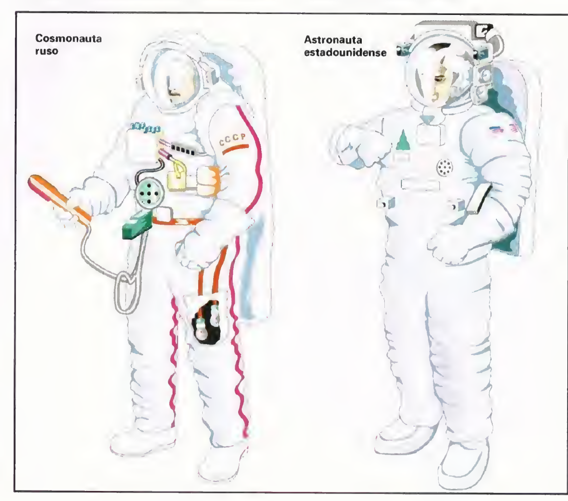
exposición del astronauta al calor generado por la radiación solar o al gélido rigor de la sombra cósmica.

Una característica particular del traje espacial –llamado por los técnicos EMU, de Extravehicular Mobility Unit, o Unidad para la Movilidad Extravehicular– es que se confecciona en una talla casi única, lo que permite, con pequeñas adaptaciones y cambio de guantes, botas y casco con diversos visores, ser utilizado por muchos astronautas.

Este traje, además de ofrecer una movilidad un 20% superior a la que permitía el traje lunar, está provisto de sistemas de control de las condiciones físicas del astronauta, que se transmiten vía radio al monitor de la cápsula. En el caso de mal funcionamiento denunciado por los aparatos, muchos de los cuales están duplicados para mayor seguridad, el sistema de control emite una señal acústica audible por el astronauta y, vía radio, una señal de alarma a la cápsula.

El traje tiene una autonomía máxima de seis horas y pesa 82 kg, incluida la mochila.

El primer paseo de prueba lo hicieron los astronautas Donald Peterson y Story Musgrave en abril de 1983, durante la sexta misión del transbordador.



A la derecha, un traje para actividades extravehiculares ruso y otro estadounidense. Pueden utilizarlo astronautas con una altura comprendida entre 1,67 y 1,85 m los rusos, y entre 1,63 y 1,90 m los estadounidenses.

EL SATÉLITE SOHO Y LOS MISTERIOS DEL SOL

Colocada entre la Tierra y el Sol, la sonda SOHO, nacida de una colaboración entre la ESA y la NASA, está desvelando algunos secretos de nuestro astro que hasta hoy habían permanecido ignorados. Con sus 12 instrumentos, la SOHO se encuentra en un punto del espacio que le permite observar el Sol 24 horas al día, y allí permanecerá al menos durante 10 años consecutivos. De los primeros análisis resulta que el Sol es mucho más turbulento de lo que se esperaba.



Son todavía muchos los misterios que guarda nuestra estrella madre, de la que prácticamente depende la vida en la Tierra. Por ejemplo, para los astrónomos no está claro el modo en que el Sol produce su campo magnético y cuál es la fuente de gran parte de la actividad solar, incluidas las imprevisibles explosiones que causan tempestades magnéticas capaces de influir profundamente en las telecomunicaciones en la Tierra.

También los astrofísicos ignoran el motivo por el cual la actividad magnética se concentra en las manchas solares, que aparecen como «islas» oscuras en la superficie del Sol. También constituye un misterio que la actividad magnética solar sufra evidentes oscilaciones que disminuyen y se intensifican según un ciclo de 11 años.

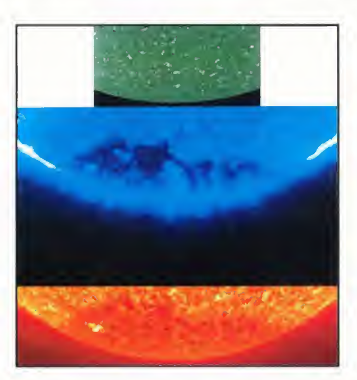
Para aclarar estos misterios y comprender mejor el impacto que el Sol tiene sobre nuestro planeta, la ESA y la NASA lanzaron, el 2 de diciembre de 1995, el SOlar and Heliospheric Observatory (SOHO).

LAS PRIMERAS IMÁGENES

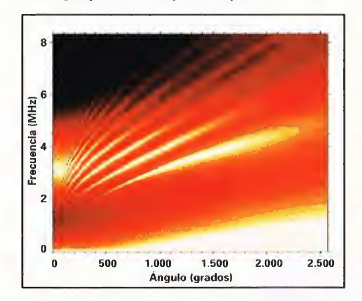
El 14 de febrero de 1996, la sonda llegó a su posición estratégica permanente, que corresponde a uno de los puntos de Lagrange de la órbita terrestre, en los cuales hay equilibrio entre la atracción gravitatoria terrestre y la solar. En este punto del espacio, el vehículo orbita alrededor del Sol exactamente como lo hace nuestro planeta. Por tanto, la SOHO está en condiciones de observar nuestra estrella las 24 horas del día.

Cuando la sonda empezó a enviar a la Tierra las primeras imágenes, el Sol estaba en fase de mínimo de su ciclo undecenal de actividad. Pero la SOHO tiene una autonomía suficiente para continuar funcionando al menos 10 años, de manera que puede observar el Sol durante sus estaciones tempestuosas, desde el actual período de quietud hasta el futuro máximo de actividad. Sin embargo, la sonda ya ha enviado a la Tierra informaciones sorprendentes.

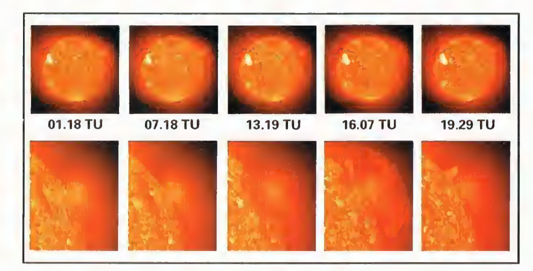
Para comprender los ciclos solares es necesario estudiar profundamente nuestra estrella, especialmente donde se genera el magnetismo. Una manera de explorar estas invisibles profundidades es estudiar las irregularidades de la superficie visible del Sol, es decir, la fotosfera. Las perturbaciones fotosféricas, que pueden tener una altura de decenas



Gigantescas fuentes de gas muy caliente salen de la superficie del Sol. La secuencia de la derecha fue tomada por la SOHO el 7 de marzo de 1996. La fotografía superior muestra las manifestaciones del campo magnético sobre la superficie solar cerca del polo Sur. En el centro, imagen del Sol en ultravioleta, donde las fuentes de gas tienen una temperatura próxima al millón de grados centígrados. En la imagen inferior puede observarse la superficie del Sol en un momento de especial tranquilidad.



A la izquierda, resultado de las observaciones hechas por el SOI/MDI, el instrumento que, a bordo de la SOHO, mide la velocidad de las oscilaciones producidas por ondas sonoras en el interior del Sol. Estas ondas son propagadas por un gas muy caliente que «hierve» en la zona de convección, situada sobre la zona radiactiva y el núcleo solar. Gracias a estas investigaciones, se ha comprendido que las ondas sonoras se propagan hacia el centro de la estrella, donde son impulsadas hacia atrás.



Desarrollo de una fulguración observada por el satélite SOHO el 26 de agosto de 1997. Como puede comprobarse, el fenómeno duró varias horas y lanzó sobre la superficie del Sol «fuentes» de material hasta una altura de millones de kilómetros.

de kilómetros y propagarse a una velocidad de centenares de metros por segundo, están producidas por ondas sonoras que atraviesan el interior del Sol.

Las ondas están confinadas dentro de la estrella porque no pueden propagarse en el vacío casi perfecto del espacio.

Sin embargo, cuando inciden en la superficie solar y rebotan hacia atrás, estas ondas perturban el gas fotosférico, llevándolo a elevarse y a bajar lenta y rítmicamente, con un período de unos cinco minutos.

Evidentemente, los movimientos oscilatorios creados por las ondas sonoras son imperceptibles a simple vista, pero los instrumentos de la SOHO los detectan fácilmente.

Las oscilaciones de la superficie son el efecto combinado de unos 10 millones de «notas» o frecuencias distintas, cada una de las cuales tiene una trayectoria de propagación específica y define una sección muy precisa del interior solar.

El factor predominante que influye sobre una onda sonora es su velocidad, la cual, a su vez, depende de la temperatura y de la composición de las regiones solares que atraviesa. Los científicos de la SOHO calculan las velocidades del sonido previstas mediante un modelo numérico.

Discrepancias relativamente pequeñas entre los resultados de los cálculos y las velocidades observadas se utilizan luego para mejorar el modelo y establecer la variación radial de temperatura, densidad y composición del Sol.

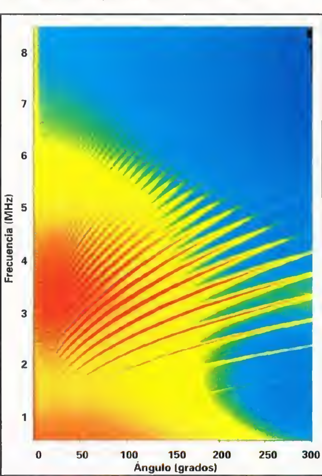
Actualmente, las previsiones teóricas y las observaciones efectuadas con telescopio presentan un acuerdo óptimo, con una diferencia máxima de solamente el 0,2%. También el hecho de que existan discrepancias es significativo: indican que hay mezclas de materia en el margen externo del núcleo (la región en la que se genera la energía solar) y justamente debajo de la zona convectiva.

Desde hace más de tres siglos, gracias a la observación de las manchas solares, los astrónomos saben que la fotosfera gira más velozmente en el ecuador que en las latitudes elevadas, y que la velocidad disminuye uniformemente en dirección a cada uno de los polos.

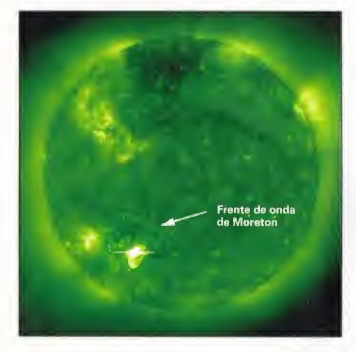
Los datos de la SOHO confirman que este comportamiento diferencial se mantiene en todo el espesor de la zona de convección. Si se sigue ascendiendo, hasta aproximadamente un tercio del radio de la estrella, la velocidad de rotación se hace uniforme de polo a polo. Por tanto, se tiene una clara variación en la base de la zona convectiva.

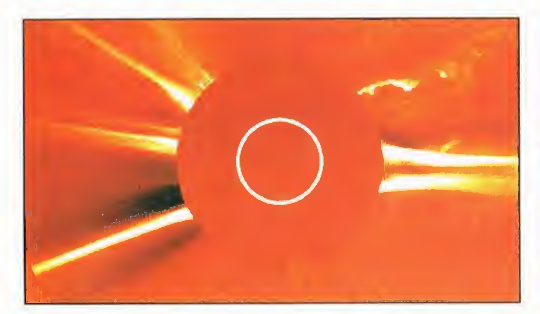
Aquí, las partes externas de la región radiativa, que gira solidariamente a una cierta velocidad, encuentran la zona convectiva que tienen por encima, la cual gira más rápidamente en su parte ecuatorial. Esta fina capa en la que se producen efectos de cizalladura a causa de la rotación diferencial podría ser la fuente del magnetismo solar. El telescopio que hay a bordo de la SOHO también ha contribuido a conocer mejor las capas externas del Sol. El telescopio ha demostrado ser especialmente útil en la aplicación de una nueva técnica heliosismológica cuya finalidad es detectar el movimiento de los gases que están inmediatamente por debajo de la fotosfera.

Las ondas sonoras resuenan dentro de las partes más profundas del Sol produciendo oscilaciones periódicas a intervalos de unos 5 minutos. La imagen de la derecha es el resultado de casi dos meses de observaciones efectuadas por el satélite SOHO. La frecuencia de las ondas, relacionada con el espectro del Sol y el ángulo de observación, permite echar una ojeada a las partes invisibles del interior de la estrella, así como a las características de la estructura, la composición y la dinámica del interior del Sol, que de otro modo serían invisibles.



La imagen compuesta de la izquierda, obtenida por varios instrumentos a bordo de la SOHO, muestra la parte más externa de la alta atmósfera solar, desde la base de la corona hasta millones de kilómetros por encima de la superficie del Sol.





Arriba, una impresionante imagen tomada por el LASCO C2, a bordo de la SOHO, a las 23.01 del 21 de agosto de 1996. Pueden observarse chorros de plasma, gas ionizado a temperaturas elevadísimas, expulsados por el Sol y sometidos al intenso campo magnético del astro. Estos chorros de gas se extienden millones de kilómetros desde la superficie solar hacia el espacio. Su estudio es de gran importancia, porque en el momento en que interaccionan con el campo magnético terrestre pueden crear fuertes perturbaciones en las comunicaciones de radio y televisión.

El método es muy sencillo: el telescopio registra cada minuto pequeñas variaciones periódicas en la longitud de onda de la luz emitida por un millón de puntos situados en toda la superficie solar. Continuando la observación de estos puntos, es posible determinar el tiempo necesario para que las ondas sonoras atraviesen los estratos externos del Sol.

El tiempo de este recorrido indica no sólo variaciones de temperatura sino también el flujo del gas a lo largo del recorrido interno que une dos puntos de la superficie solar visible. De este modo, el telescopio ha proporcionado los tiempos de recorrido de ondas sonoras que han seguido millares de trayectorias, uniendo infinidad de puntos de la superficie solar.

Gracias a estos datos, los científicos de la SOHO han conseguido reconstruir la estructura interna tridimensional y la dinámica del Sol más o menos de la misma manera en que una tomografía axial computerizada (TAC) crea una imagen del cerebro. Así, se ha observado que, según lo previsto, esta región tumultuosa parece una olla de agua en ebullición: la materia caliente se eleva, mientras que el gas frío desciende. Sin embargo, muchos de estos flujos son sorprendentemente poco profundos.

EL ESTUDIO DE LA CORONA SOLAR

La SOHO también está ayudando a los estudiosos a comprender mejor la atmósfera solar o corona.

El claro borde externo del Sol es una ilusión: indica, simplemente, el nivel superado el cual el gas solar se hace transparente.

La corona invisible se extiende hasta más allá de los planetas y es una de las paradojas más conflictivas de la física solar: es extremadamente caliente, dado que alcanza temperaturas de más de un millón de grados kelvin justamente por encima de la fotosfera, la cual, en cambio, tiene una temperatura de sólo 5.780 K.

Pero el calor no puede en modo alguno fluir de una región más fría a otra más caliente, según establece el segundo principio de la termodinámica. Por tanto, ha de existir un mecanismo que transporte energía desde la fotosfera, o desde una región por debajo de ella, hasta la corona.

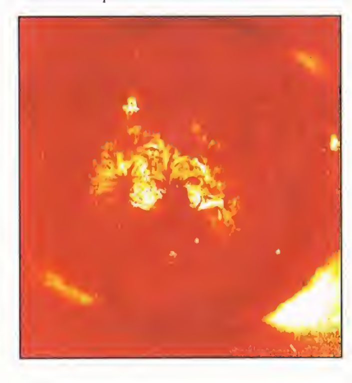
Para estudiar la corona e identificar su evasivo mecanismo de calentamiento, es útil observar la radiación ultravioleta (UV), la ultravioleta extrema (EUV) y los rayos X. La materia muy caliente (como la de la corona) emite gran parte de su energía a estas longitudes de onda. Además, la fotosfera es demasiado fría para irradiar intensamente a tales longitudes de onda y, por tanto, aparece oscura por debajo de los gases hirvientes. Por desgracia, estos tipos de emisiones son absorbidos total o parcialmente por la atmósfera terrestre y, por consiguiente, para su observación se necesitan telescopios con base en el espacio. La SOHO está midiendo la radiación UV y la EUV mediante cuatro instrumentos.

Recientemente, la radiación ultravioleta ha revelado que el Sol es sede de fenómenos violentos, incluso en el actual período de quietud relativa del ciclo undecenal de actividad. Esto podría contribuir a explicar por qué la corona es tan caliente. Todo el disco solar parece brillar con radiación ultravioleta emitida por puntos luminosos localizados. Según las medidas de la SOHO, estos puntos calientes tan difusos se forman a una temperatura de un millón de grados kelvin y parecen tener su origen en pequeños anillos magnetizados de gas muy caliente, esparcidos por toda la superficie del Sol, incluidos los polos. Algunas de estas regiones explosionan y proyectan materia hacia el exterior a velocidades de centenares de kilómetros por segundo.

UN DESCUBRIMIENTO EXTRAORDINARIO

En agosto de 1997, los científicos de la NASA y de la ESA declararon haber descubierto verdaderas «corrientes en chorro» o ríos de gas muy caliente y cargado eléctricamente, por tanto en estado de plasma, que circulan por debajo de la superficie del Sol. «Se parecen a corrientes atmosféricas similares a las que hay en la parte alta de la atmósfera terrestre –ha dicho Jesper Schou, de la Universidad de Stanford–, pero están íntegramente dentro del Sol. Es un descubrimiento totalmente inesperado.» Estas corrientes giran alrededor del Sol a 75 grados de latitud y forman regiones ovales con un diámetro de unos 30.000 km, donde el material viaja a una velocidad de aproximadamente 150 km/h.

Una inmensa explosión de gas, consecuencia del campo magnético, se alza desde la superficie solar y es visible en el centro de la imagen de la derecha, tomada en ultravioleta por la sonda SOHO. En el mismo instante en que la SOHO tomaba esta fotografía, también desde la Tierra los telescopios observaban la superficie del Sol, pero no aparecía nada de lo que estaba ocurriendo en su superficie porque la atmósfera terrestre filtra casi completamente los rayos ultravioleta.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL SOL EN LAS RELIGIONES ANTIGUAS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

CÚMULOS GLOBULARES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

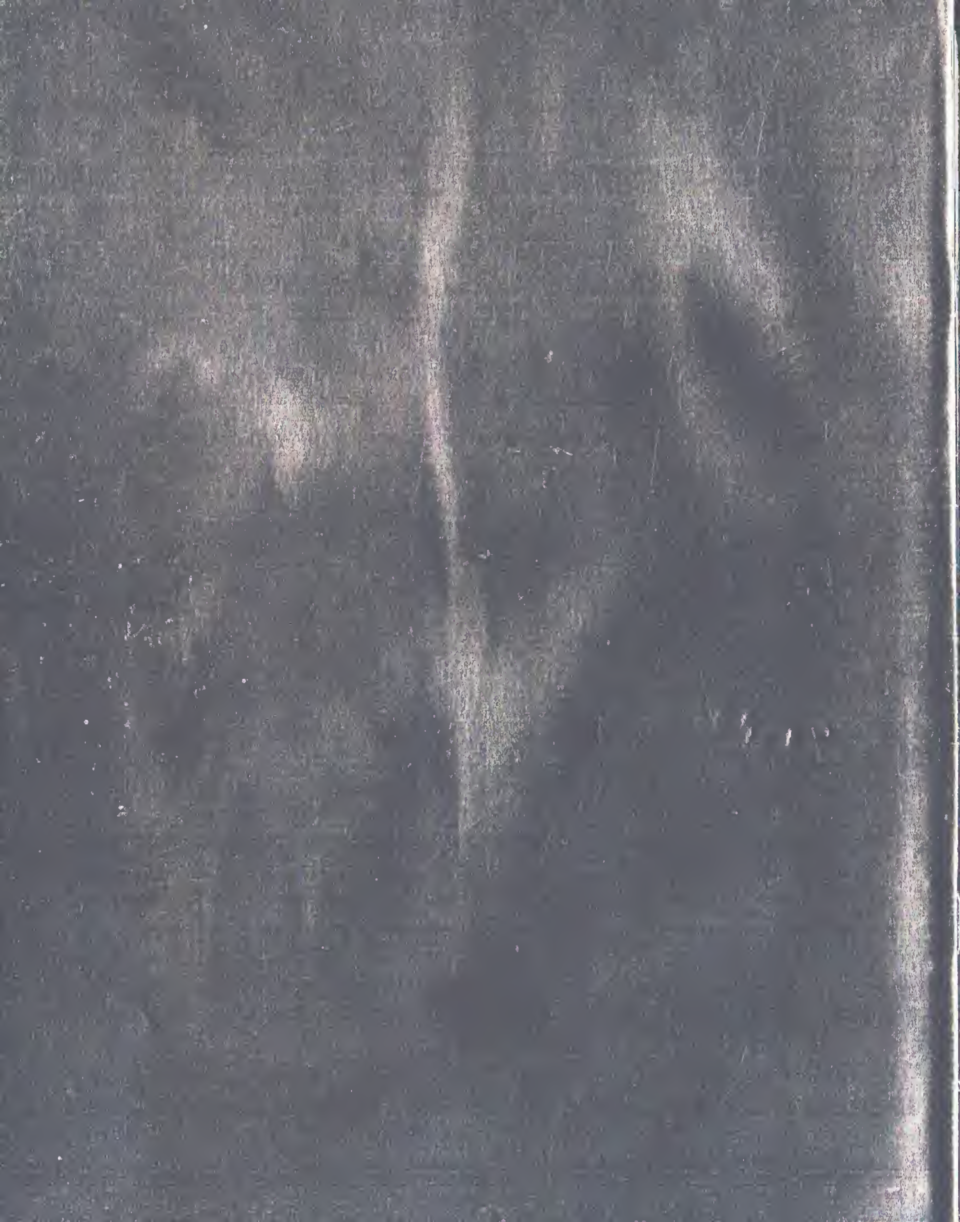
TRIÁNGULO AUSTRAL-COMPÁS

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

REACCIONES QUÍMICAS

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

NO SÓLO SATÉLITES



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

62



9 788439 554219
10062

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.: Brinstock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

EL SOL EN LAS RELIGIONES ANTIGUAS

Desde los albores de la civilización, la humanidad ha divinizado los objetos celestes, dando a menudo un puesto preeminente al Sol. No obstante, la importancia de los cultos solares ha variado mucho de un pueblo a otro. Para algunos, los dioses vinculados al Sol eran considerados inferiores a los vinculados a la Luna.



El desarrollo de las religiones monoteístas y su difusión por el mundo es un fenómeno relativamente reciente en la historia de la civilización. Las divinidades de las primeras religiones estaban asociadas sobre todo a fenómenos naturales u objetos celestes, como la Luna y el Sol.

Para muchos pueblos, el politeísmo y el animismo constituyeron la primera forma de religiosidad y sólo en una segunda fase fueron suplantados por las doctrinas que hoy en día son las más difundidas.

Por razones bastante obvias, muchos pueblos consideraban como divinidad principal al astro del día, el que con su luz disipa las tinieblas de la noche, calienta la Tierra y permite el crecimiento de las plantas y de todos los seres vivos. No obstante, el Sol puede tener también efectos deletéreos, como la sequía y la escasez, cuando su dominio persiste durante períodos demasiado largos.

Por ello, es bastante natural que las divinidades asociadas al Sol fueran

En la imagen de la izquierda se representa al faraón Psusenas. Los antiguos egipcios veneraban al Sol, al que asociaron distintos dioses en el transcurso de la historia de esta civilización. El propio faraón era considerado como una personificación del dios del Sol.

las más poderosas, como las de la fertilidad, la justicia y la sabiduría, pero también las que estaban dotadas de mayor poder destructivo.

EL RECORRIDO DEL SOL POR EL CIELO

Podemos asistir cada día, si el tiempo acompaña, al «milagro» de la salida del Sol. Naturalmente, la cosa no nos sorprende, pues sabemos que el fenómeno se debe a la rotación terrestre, que oculta periódicamente nuestra estrella. Antiguamente, sin embargo, el fenómeno podía interpretarse de otra forma.

En el Antiguo Egipto se creía que el Sol recorría la bóveda celeste llevado por una embarcación que iba de oriente a occidente. Llegado el crepúsculo, le daba muerte y se lo comía Nut, la diosa del cielo, la cual lo paría a la mañana siguiente.



Arriba, el templo de Isis. Esta divinidad fue representada a menudo con el disco solar, provisto de dos cuernos, en la cabeza.

En esta creencia la alternancia del día y la noche estaba asociada a dos sucesos cardinales de la vida: el nacimiento y la muerte.

Para los antiguos egipcios, los muertos reproducían el viaje del Sol, pues navegaban a lo largo de un río hasta el lugar de su sepultura.

En el mundo mesopotámico, las zonas situadas más a occidente también estaban asociadas a la idea de la muerte, por analogía con la «muerte» cotidiana del Sol en tal dirección.

Como los egipcios, los antiguos griegos creían que el Sol efectuaba su recorrido diurno llevado por un medio de transporte, pero en este caso se trataba de un carro arrastrado por caballos. Una leyenda cuenta que este carro iba guiado un día por la mano inexperta de Faetón, hijo de Apolo, la divinidad griega a la que estaba asociado el astro del día. Pero Faetón perdió el control y quemó la parte de la bóveda celeste ocupada por la Vía Láctea.



Estatua huaxteca que representa a la diosa de la fertilidad Tlazolteotl. En las poblaciones de la América meridional y central el Sol también ocupaba un lugar de gran importancia en el panteón de las divinidades locales. Junto a sus típicos valores positivos, el dios podía presentar también connotaciones negativas.

LAS DIVINIDADES EGIPCIAS

El culto al Sol, que tuvo gran importancia en el Antiguo Egipto, sufrió sucesivas modificaciones en el curso de los siglos.

El principal dios egipcio del Sol era Ra, llamado en una segunda época Amon-Ra (nombre tomado de una divinidad de Tebas asociada también al culto solar).

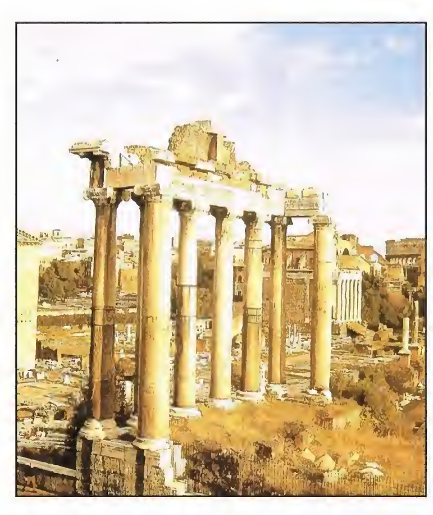
Con la reforma llevada a cabo por el faraón Amenofis IV hacia el 1400 a.C., en Egipto se intentó pasar de una religión politeísta a otra monoteísta, en la que la única divinidad debía ser Atón, dios del Sol, representado por un simple disco solar. La reforma, impuesta desde arriba, no tuvo éxito y los dioses que Amenofis había tratado de expulsar no tardaron en volver.

El Sol intervenía también en la representación de otros dioses no directamente relacionados con él, como Isis, hermana y esposa de Osiris, representada a menudo con un disco solar con dos cuernos colocado sobre su cabellera.

El propio faraón era considerado como la encarnación de Horus, dios de cuerpo humano y cabeza de halcón, también ligado al Sol.

MESOPOTAMIA

Una de las más importantes figuras del panteón mesopotámico fue ciertamente



A la izquierda, el foro imperial romano. Junto a la religión oficial, afín a la griega, en la antigua Roma se difundieron nuevos cultos, a menudo ligados al Sol, a medida que los romanos, con el paso de los siglos, entraban en contacto con otros pueblos. Entre ellos figura el culto a Mitra, introducido en Roma en las postrimerías de la época republicana; varios emperadores se hicieron iniciar en este culto.

Según la tradición, el código de Hammurabi (a la derecha) le fue dado al rey por el dios del Sol, Samash, sumo legislador y juez del Olimpo mesopotámico.

Samash, dios del Sol, marido y hermano de Istar. Ambos eran hijos de Anu, dios del cielo.

Según los pueblos mesopotámicos, Samash era un principio ordenador y legislador, un dios sabio, y por esta razón sumo juez.

Según la tradición, Hammurabi, el gran rey de Babilonia conocido por sus códigos y leyes, recibió de Samash el sistema de leyes que le hizo famoso durante milenios.

El carácter benéfico de Samash estaba acentuado por su carácter de dios de la fertilidad.

Según ciertos textos asirios, era a él a quien se podía recurrir en caso de necesidad o para pedir justicia.

Los pueblos que vivieron en Mesopotamia tuvieron varias divinidades; una de las más importantes fue Samash (a la izquierda), el dios del Sol. En la leyenda que tiene por protagonista a Gilgamesh, Samash es la divinidad protectora del propio Gilgamesh y de su compañero Enkidu, los cuales, durante sus viajes, están expuestos a muchos peligros.



GRECIA

En épocas remotas, los antiguos griegos veneraban al dios Helios, el Sol, el cual, como ya se ha dicho, recorría el diurno camino celeste en un carro tirado por caballos.

Con el paso del tiempo el Sol fue asociado a Apolo, el dios de la poesía y de la música, que llegó a sustituir a Helios incluso en la conducción del carro solar.

El solar Apolo se contraponía a Dioniso, dios ligado a la Tierra y a las fuerzas «oscuras», aunque ninguno de los dos tenía un lugar preeminente en el Olimpo, gobernado por Zeus.

ROMA

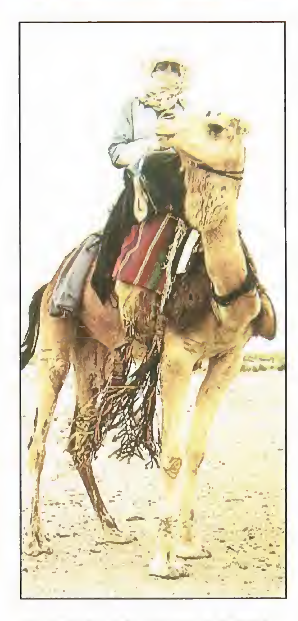
La veneración del Sol en la antigua Roma estuvo muy influida por los pueblos que cayeron bajo su dominio.

Antes de la expansión romana por la cuenca mediterránea, había en el Lacio ritos locales asociados al Sol, pero fueron sustituidos muy pronto por otros cultos de origen oriental, griego o de otras poblaciones situadas todavía más al este.

Era muy venerado Mitra, el dios de los persas, que se encarnaba en la figura del emperador.

Los romanos no desarrollaron una teología propia del culto solar, sino que prefirieron con mucho religiones de importación.





Antes de Mahoma, las tribus beduinas que poblaban la península arábiga eran básicamente politeístas. Una de las divinidades adoradas por los árabes era el Sol, aunque se le consideraba una entidad maligna, destructiva, porque era el causante de la desertización del lugar.

EL ORIGEN DEL CULTO A MITRA

Mitra era una divinidad del mazdeísmo, la religión de los pueblos que vivían en la antigua Persia antes de la aparición de Zaratustra.

Como sucede a menudo con las divinidades solares, Mitra era el dios de la luz y su acción benigna protegía a las personas honradas. Su difusión en Roma fue favorecida por el culto de que era objeto por parte de los guerreros.

Pese a ser uno de los dioses más importantes del mazdeísmo, Mitra era de categoría inferior a Ahura Mazda, el dios supremo de esta religión.

La predicación de Zaratustra, en un período que cabe situar entre los siglos VII y VI a.C., llevó a la reforma del mazdeísmo. En la nueva religión dos divinidades luchaban entre sí: Ahura Mazda, el principio del bien y la luz, y Arimán, el espíritu del mal y las tinieblas.

LA AMÉRICA PRECOLOMBINA

Hay evidencias muy claras de que también los pueblos de América central y meridional celebraban ritos en honor del Sol.
En Teotihuacán, una de las ciudades principales del estado de los toltecas, un pueblo derrotado y sometido por los aztecas, es posible admirar todavía una gran variedad de pirámides, las más imponentes de las cuales son las de la Luna y el Sol.

Sabemos que los aztecas veneraban al Sol como un dios y que en su honor se celebraban sacrificios humanos, durante los cuales se extraía el corazón de las víctimas y se ofrecía a la divinidad. Estudios sobre los pueblos que vivieron en México han demostrado que a menudo los aztecas guerrearon con el solo fin de procurarse las víctimas para los ritos en honor del dios del Sol.

Entre los aztecas, la divinidad solar, llamada Tonatiuh, era una de las mayores; sin embargo, como en otros pueblos, no se trataba de la figura preeminente, pues obedecía al dios creador, Tonacatecutli.

También los incas, que vivieron en el actual Perú, veneraban al Sol en la persona del dios Inti, cuyo templo en Machu Picchu, capital del imperio, conserva todavía un nomon.

EN ARABIA ANTES DE MAHOMA

Antes de Mahoma, las tribus nómadas de Arabia eran politeístas. También estas poblaciones veneraban divinidades ligadas a los astros, y el papel principal corría a cargo sobre todo de la Luna.

Entre los árabes, como es fácil de imaginar, el Sol tenía unas connotaciones negativas. Arabia está dominada por un vasto desierto sobre el cual reina el Sol. No es de extrañar, por tanto, que las tribus beduinas lo consideraran una entidad de efectos destructivos. Sólo con el desarrollo de las actividades agrícolas el culto al Sol pudo adquirir cierta importancia, aunque subordinado siempre al de la Luna.

La subordinación del culto solar al lunar es evidente todavía hoy en el calendario musulmán, basado en el mes lunar y no en el año solar, como el calendario de los pueblos occidentales.



Página de una antigua edición de la Biblia. Entre los hebreos, el culto a Jehová, antes de consolidarse definitivamente, tuvo que vencer a otras religiones que adoraban a divinidades solares, como Baal, dios de los cananeos.

Las pirámides de Teotihuacán fueron construidas por el pueblo de los toltecas, que más tarde fue sometido por los aztecas. Estas pirámides constituían lugares de culto, pues en su cima había templos. En ellas se celebraban los sacrificios humanos en honor del dios Sol.



UN ENCUENTRO BÍBLICO

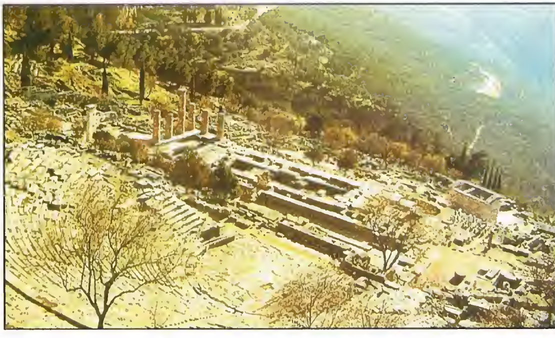
El culto de Jehová no careció de obstáculos en la historia del pueblo hebreo.
Se cuenta en la Biblia la lucha que el profeta Elías –llevado al cielo al término de su vida por un carro de fuego tirado por dos caballos– emprendió contra el culto de Baal, la divinidad solar que el rey Acab y su mujer Jezabel trataron de favorecer durante su reinado. Según el relato bíblico, Elias venció a los seguidores de Baal proponiéndoles un doble sacrificio. Elías ofreció una oveja a Jehová y otro tanto hicieron los sacerdotes de Baal con su dios, tras lo cual cada uno pidió a su respectivo dios que encendiera la pira sobre la cual descansaba la víctima del sacrificio. Sólo se encendió la pira de Elías, lo que significó el triunfo de éste y el declive del culto de Baal entre los hebreos.

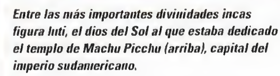
INFLUENCIAS SOBRE EL CRISTIANISMO

También el cristianismo sufrió influencias de las religiones anteriores. Todavía hoy persisten en él huellas de la identificación de Dios con el Sol.

Por citar una de las más importantes, la Navidad, el 25 de diciembre, coincide con una fiesta solar de la antigua Roma. Su ubicación cerca del solsticio invernal nos recuerda el resurgir anual del Sol, el aumento de la duración del día después del solsticio. Análogamente, Cristo, al nacer aquel día, triunfa sobre las fuerzas oscuras del mal.

Abajo, el templo de Apolo en Delfos. Apolo era el dios griego del Sol y el equivalente romano de Helios, la primera divinidad solar venerada por los antiguos griegos.





Entre las más importantes divinidades incas figura Inti, el dios del Sol al que estaba dedicado el templo de Machu Picchu (arriba), capital del imperio sudamericano.

Por consiguiente, el culto solar, con importancia variable, estaba presente en la mayor parte de las religiones antiguas, y su carácter dependía críticamente del medio en el que vivían las poblaciones que lo practicaban, así como del carácter del propio pueblo.

Un rasgo muy frecuente de las religiones que poseían un culto al Sol era la subordinación de éste a otras divinidades, generalmente un dios generador del cosmos, o más genéricamente un dios del cielo; en otros casos el Sol, como los demás astros dioses, estaba sujeto al destino.

LOS CÚMULOS GLOBULARES

Los cúmulos globulares son los sistemas estelares con más larga historia: estudiándolos se puede reconstruir lo acontecido en nuestra Galaxia y en el universo entero.



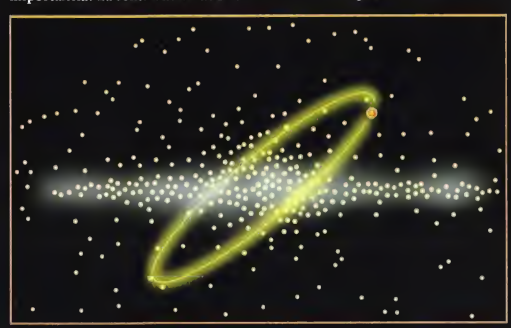
Los cúmulos globulares son conjuntos de millones de estrellas que aparecen en el cielo, incluso para el astrónomo aficionado, como unos objetos extraordinarios: son de forma casi esférica y constituyen un hormiguero de estrellas. Éstas forman unos agregados tan densos que ni siquiera los telescopios más potentes pueden distinguir las contribuciones luminosas individuales, especialmente en sus regiones centrales. Sólo con el NTT del ESO (Chile) y después con el telescopio espacial Hubble se han podido ver las estrellas individuales en los centros de los cúmulos sin que se superpongan en la visual.

UNOS OBJETOS IMPORTANTÍSIMOS

Pocos objetos han sido tan fecundos para la astronomía como los cúmulos globulares. Su estudio es de importancia capital en muchos capítulos de esta ciencia, como la evolución estelar, los procesos de formación de galaxias, la estructura de nuestra Galaxia y la determinación de la edad del universo. ¿Cómo pueden unos simples agregados de estrellas como los cúmulos globulares tener tanta importancia? La contribución de su estudio al desarrollo de la astronomía y de la cosmología ha sido insustituible.

Arriba a la derecha, fotografía de un cúmulo globular en una galaxia exterior, en este caso la de Andrómeda. El cúmulo del centro de la imagen se llama G1 o Mayall II. Comprende al menos 300.000 estrellas de edad avanzada y se encuentra a unos 130.000 años luz del núcleo de dicha galaxia.

Abajo, distribución de los cúmulos globulares dentro de una galaxia como la Vía Láctea. Estos objetos, representados como pequeños globos luminosos, forman un halo de forma esférica centrado en el núcleo de la galaxia. Sus órbitas, una de las cuales se dibuja aquí, los llevan a atravesar el disco galáctico.



Esta importancia reside esencialmente en dos hechos. En primer lugar, los cúmulos están formados por estrellas nacidas todas ellas de la misma nube de gas interestelar. Por tanto, son conjuntos de estrellas surgidas cuando comenzó a formarse nuestra Galaxia.

RECONSTRUIR LA EVOLUCIÓN ESTELAR

El que se trate de objetos formados por estrellas de la misma edad que luego han evolucionado de modo distinto según su masa ha permitido a los astrofísicos estudiar un conjunto extremadamente puro de estrellas y obtener datos sobre los procesos que están en la base de la evolución estelar: las estrellas de un cúmulo globular tienen la misma edad y la misma composición química porque han nacido del mismo material, el que formaba al comienzo la nube de gas y polvo que se fue contrayendo gravitacionalmente para formar las estrellas. Pero estas estrellas nacen con distinta masa. Como la luminosidad de una estrella es proporcional al cubo de su masa, las estrellas más masivas son también las más luminosas, por lo que consumen su combustible nuclear a un ritmo más elevado. En consecuencia, las estrellas de un sistema estelar agotan su combustible nuclear en momentos distintos según su masa, unas antes y otras después. Las estrellas de un cúmulo tienen la misma edad, pero al ser diferente su masa se encuentran en estados evolutivos distintos. Esta propiedad, característica de los cúmulos globulares, permite contrastar las teorías de la evolución estelar y hacer un seguimiento completo de la vida de una estrella.

LA FORMA DE NUESTRA GALAXIA

Se cree que los cúmulos globulares nacieron cuando comenzó la fase de formación de nuestra Galaxia. Al empezar su contracción gravitacional, la nube de gas protogaláctico tenía una forma esférica. Durante la contracción, y hasta la formación del disco de la Galaxia, la nube dejó tras de sí fragmentos de materia, gas y polvo que



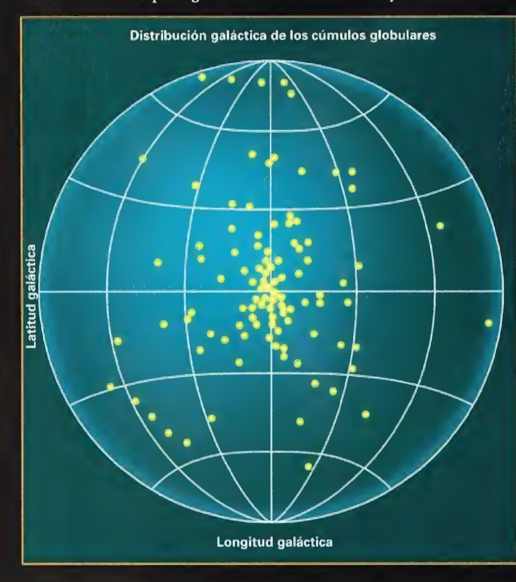
A la izquierda, imagen del cúmulo globular M15, uno de los más luminosos de nuestra Galaxia. Se encuentra en la constelación de Pegaso y tiene una luminosidad equivalente a la de una estrella de magnitud 6,5. Su distancia aproximeda es de unos 30.000 años luz.

En la Gran Nube de Magallanes hay cúmulos globulares jóvenes, como el que se ve en la imagen de la derecha, NGC 18181, cuyas estrellas tienen una edad estimada en unos 40 millones de años.



se contrajeron a su vez formando los distintos cúmulos globulares. Estos objetos, por tanto, se formaron antes de que lo hiciera el disco y permanecieron donde habían nacido, constituyendo una estructura esférica, el halo, alrededor del plano galáctico. He aquí por qué los cúmulos globulares tienen una distribución con simetría esférica alrededor del centro galáctico. Se trata además de los objetos estelares más viejos, con una edad comprendida entre diez mil y veinte mil millones de años. Los cúmulos abiertos, en cambio, son más jóvenes, pues se encuentran exclusivamente en el plano galáctico.

Abajo, una representación de la distribución de los cúmulos globulares en nuestra Galaxia, basada en datos reales. Se han representado 132 (de los cerca de 400 actualmente observados) con el núcleo galáctico en el centro del dibujo.



LA EDAD DEL UNIVERSO

La edad de los cúmulos globulares, que casi es la misma para todos, con pequeñas diferencias de las que pronto nos ocuparemos, puede considerarse como un dato fundamental para las teorías que pretenden explicar el origen del universo. Se cree que la edad de un cúmulo es igual a la de la Galaxia y que casi todas las galaxias se formaron al mismo tiempo. Por tanto, para obtener la edad del universo basta sumar a la edad de los cúmulos globulares el tiempo transcurrido desde el origen del universo hasta la formación de las galaxias. En consecuencia, averiguando la edad de los cúmulos globulares se puede determinar la edad del universo. Pero este procedimiento es mucho más complejo de lo que pueda dar a entender esta descripción y está lleno de incertidumbres. La dificultad estriba precisamente en medir la edad de los cúmulos globulares.

LA ESTRUCTURA DE LA GALAXIA

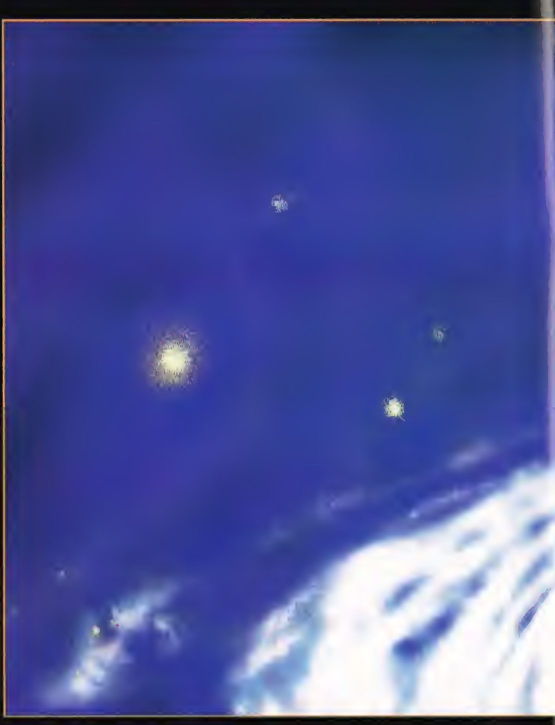
Los cúmulos globulares están distribuidos formando una estructura de forma esférica que rodea el centro galáctico. Precisamente el estudio de su posición en el firmamento ha permitido deducir su ubicación real en la Galaxia; se ha comprobado así que están dispuestos simétricamente respecto a un centro, el centro galáctico. El estudio de su posición y la medida de su distancia al Sol han permitido calcular su distancia al centro galáctico y por lo tanto determinar también nuestra distancia al centro de la Galaxia, que actualmente se estima en unos 8.500 parsecs, esto es, unos 28.000 años luz.

LAS DISTANCIAS ASTRONÓMICAS

En los cúmulos globulares se encuentran las estrellas más viejas de nuestra Galaxia: en astrofísica se suele decir que aquéllos están compuestos por estrellas de la población II, mientras que se habla de población I para indicar las estrellas jóvenes. En la población II hay unas estrellas variables, las RR Lyrae, de notable importancia para la determinación de las distancias astronómicas. Los cúmulos globulares son los lugares naturales en los cuales buscar estas estrellas variables viejas, a partir de cuyas propiedades se puede calcular su distancia y por tanto también la distancia al cúmulo globular que las contiene. Éste es uno de los métodos generalmente utilizados para

CÚMULOS GLOBULARES CAPTURADOS

En los últimos años está emergiendo un panorama cada vez más claro de la dinámica de los cúmulos globulares en nuestra Galaxia. En particular, el estudio de las distintas familias dinámicas de cúmulos ha llevado a la hipótesis de que algunos de los que hoy se encuentran en el halo de nuestra Galaxia, y en especial en el halo externo, no nacieron al mismo tiempo que los demás. En realidad, habrían sido capturados por el campo gravitacional galáctico. Se encuentran supuestamente en este caso los cúmulos Pal 12, Terzan 7, Ruprecht 106, Arp 2 e IC 4499.



determinar la distancia de un cúmulo. Una vez medida la magnitud aparente del cúmulo globular, la medida de las distancias permite determinar su magnitud absoluta y por tanto la verdadera luminosidad del cúmulo.

Efectuando estas medidas en los cúmulos globulares conocidos, se ha observado que todos ellos tienen aproximadamente la misma luminosidad verdadera. Son, pues, patrones de luminosidad, por lo que son perfectos para medir distancias astronómicas. Se trata de un hecho extraordinariamente importante porque significa que si observamos cúmulos globulares en otras galaxias y logramos medir su luminosidad aparente, al conocer también su luminosidad real podremos determinar, comparando ambas, la distancia de los cúmulos y la de la galaxia que los contiene.

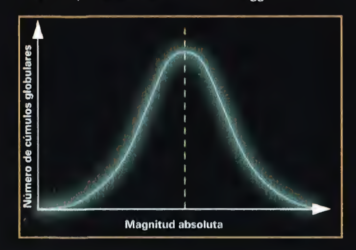
INNUMERABLES ESTRELLAS

Las regiones centrales de estos sistemas estelares están extremadamente pobladas, unas mil veces más que las zonas más próximas al Sol. Sólo en el último decenio, gracias a unos instrumentos especiales para detectar la luz solar, los CCD, y gracias también al NTT y al telescopio espacial, se han podido resolver los núcleos de los cúmulos globulares, esto es, distinguir las estrellas que se encuentran en ellos.

Se ha podido estudiar así con el mayor detalle los objetos que se encuentran en sus regiones centrales, como las estrellas blue stragglers (estrellas demasiado azules y brillantes como para caer en la secuencia principal del cúmulo, probablemente fruto de la fusión de dos o más estrellas) y las estrellas compañeras de sistemas binarios que emiten radiación X.

Los objetos binarios están sobre todo en las regiones centrales de los cúmulos globulares, porque por término medio son más masivos que las demás estrellas normales y por lo tanto tienden a «caer hacia el centro» del cúmulo.

En los últimos años, el estudio de los cúmulos y de los objetos que en ellos se encuentran ha avanzado mucho gracias al progreso tecnológico en la construcción de nuevos y más modernos detectores y telescopios.



La función de luminosidad de los cúmulos se representa por un gráfico en el que figura en ordenadas el número de cúmulos y en abscisas la magnitud absoluta, esto es, la luminosidad. Como se advierte, la mayoría de los cúmulos tienen una luminosidad bien precisa. Ésta es la razón por la que los cúmulos globulares pueden considerarse como indicadores de distancia.

DINÁMICA INTERNA

La posibilidad de ver en el interior de los cúmulos globulares también permite estudiar mejor la dinámica de las estrellas y de los sistemas binarios que se encuentran en ellos. Esto es importante para obtener informaciones sobre la dinámica de

sistemas de cuerpos gravitacionalmente ligados, como son los cúmulos globulares, y para estudiar las interacciones entre las estrellas componentes mediante observaciones o simulaciones por ordenador. Las elevadas densidades favorecen auténticas colisiones entre estrellas y por tanto la formación de otros cuerpos de características muy especiales (como las estrellas blue stragglers), o bien el nacimiento de sistemas binarios cuando el encuentro entre dos estrellas no provoca la destrucción de ambas sino una recíproca captura gravitacional.

Si una de las dos estrellas es una estrella de neutrones, el sistema binario puede emitir rayos X al tiempo que la estrella compañera pierde parte de su masa en beneficio de la estrella de neutrones.

FAMILIAS DE CÚMULOS GLOBULARES

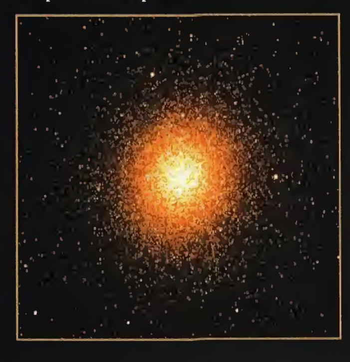
En realidad, la clase de los cúmulos globulares, contemplada desde el punto de vista de la distribución espacial dentro de nuestra Galaxia, no es una familia homogénea; en los últimos años está emergiendo un cuadro cada vez más problemático y los cúmulos globulares parecen tener unas propiedades mucho menos homogéneas de lo que se creía anteriormente. En particular, en los sistemas de cúmulos globulares es posible distinguir cuatro familias dinámicas, según la distancia al centro galáctico y según la composición química.

Existen cúmulos globulares con un bajo contenido en metales (elementos distintos del hidrógeno y el helio) y cúmulos con un mayor contenido metálico. Este carácter metálico es un reflejo de la composición química de la materia interestelar a partir de la cual se han formado los cúmulos. Los pobres en metales ocupan el halo de la Galaxia y son más viejos. Los ricos en metales son un poco más jóvenes porque se han formado a partir de materia enriquecida en metales expulsada al medio interestelar, por ejemplo mediante explosiones de supernovas; los miembros de esta familia se llaman «cúmulos de disco» porque se encuentran en el disco galáctico. Se distinguen otras tres familias de cúmulos globulares que se encuentran en el halo: los cúmulos del halo interno, si su distancia al centro galáctico es inferior a la del Sol; los del halo externo, si su distancia es mayor que ésta pero inferior a 60.000 parsecs, y los del halo extremo, si la distancia al centro galáctico es superior a 60.000 parsecs.

UNA PARADOJA EMBARAZOSA

Hace pocos años los astrónomos se encontraron ante una paradoja aparentemente incomprensible: la edad de las estrellas de algunos cúmulos globulares resultaba mayor que la del universo. Se trata de algo obviamente imposible; es como si un padre fuera más joven que su propio hijo. Probablemente la edad de estas estrellas ha sido sobrestimada, pero el problema sigue abierto.

Así es como un artista ha imaginado el borda del disco de nuestra Galaxia, con algunos cúmulos globulares a su alrededor (arriba). La distribución da éstos se utiliza para determinar el cantro de la Vía Láctea.



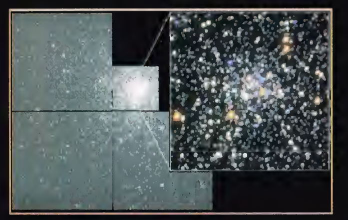
A la derecha, fotografía de Omaga Centauri, al mayor y más luminoso cúmulo globular de nuestra Galaxia: comprende unos diez millones de estrellas. Medidas precisas de la posición da algunas de ellas han permitido determinar la órbita del cúmulo alrededor del centro de la Galaxia.

Los cúmulos globularas se puedan clasificar en familias atendiendo al carácter metálico y a la distencia al centro galáctico:
R_1 = 10.000 parsecs.
R_2 = 40.000 parsecs.
R_3 = 60.000 parsecs.

EFECTOS DEL MEDIO

El estudio de las propiedades de los cúmulos y su subdivisión en familias no es un puro ejercicio de clasificación, sino un importante procedimiento para determinar los efectos del medio sobre la evolución de un cúmulo. En este caso, el medio está formado por el resto de la Galaxia.

En particular, parece desempeñar un papel muy importante en la vida de un cúmulo el campo gravitacional del disco de nuestra Galaxia. Los cúmulos globulares se mueven alrededor del centro galáctico siguiendo órbitas fuertemente elípticas que los llevan a cortar periódicamente el disco de la Galaxia. Esto sucede aproximadamente cada 100 millones de años. El campo gravitacional y las fuerzas de marea que ejerce el plano galáctico sobre los cúmulos globulares que lo atraviesan son tan intensos que a largo plazo el cúmulo queda destruido. Se cree que alguna de las estrellas viejas que hoy se encuentran en la Galaxia formaron parte inicialmente de cúmulos globulares más tarde disgregados. La destrucción de los cúmulos globulares se produce así con una frecuencia de unos cinco cúmulos cada mil millones de años. Se habla, por tanto, de una influencia del medio galáctico sobre la evolución dinámica del cúmulo



El talascopio espacial Hubble ha explorado a fondo el centro del cúmulo globuler M15, en la constelación de Pegaso (a la izquierda). La imagen logra resolver la región central del núcleo, que desde la Tierra aparaca como une mancha de luz confusa. El diámatro real del cúmulo es de unos 150 años luz y su luminosidad total corresponda a la de 200.000 soles.



El cúmulo globular M5, en la constelación de la Serpiente (a la izquierda), comprenda unas 100.000 estrellas. Situado a unos 26.000 años luz, astá an al límite de la observabilidad a simple vista. Con unos prismáticos se muestra en todo su asplandor.



Arriba a la izquierda, imagen del cúmulo globular NGC 1850, perteneciente a la Gran Nube de Magallanes. Esta foto se ha obtenido combinando tres imágenes tomadas con distintos filtros: rojo, verde y azul. El cúmulo es muy joven; así lo demuestra el color azulado de los miembros del cúmulo, distinto del de las estrellas de fondo.

DATOS SOBRE ALGUNOS CÚMULOS GLOBULARES

CÚMULO GLOBULAR	DISTANCIA	CONCENTRACIÓN C*
47 Tucanae	15.000 años luz	2,2
NGC 5053	52.000 años luz	0,8
NGC 5139	16.000 años luz	1,2
NGC 5272	34.000 años luz	2,0
NGC 5466	51.000 años luz	1,5
NGC 6171	21.000 años luz	1,5
NGC 6397	7.200 años luz	2,8
NGC 6838	12.700 años luz	1,3
NGC 7078	34.000 años luz	2,8

* La concentración es una medida de la densidad de estrellas en las regiones centrales del cúmulo globular: cuanto mayor es c (c = 2 ya es un valor notable) mayor es la densidad estelar del cúmulo.

globular. La acción gravitacional ejercida por el disco galáctico sobre un cúmulo limita también el tamaño de éste: las estrellas que se encuentran tan lejos del centro del cúmulo que sienten más intensamente la atracción gravitacional del centro galáctico que la del cúmulo se desprenden de él. Se habla entonces de «evaporación» de estrellas de un cúmulo globular. Ésta es la razón por la que el tamaño de un cúmulo globular está limitado por la atracción del campo gravitacional galáctico.

EVOLUCIÓN DE UN CÚMULO

La evolución de un cúmulo globular no se debe sólo a la acción del medio en que se encuentra sino también a sus características intrínsecas: las estrellas que lo componen evolucionan a su vez, viven y mueren, algunas naturalmente, otras a través de colisiones; se forman objetos «extraños» y objetos binarios. En definitiva, un cúmulo globular constituye un medio único por dos razones opuestas: por una parte, la extrema pureza de la población estelar inicial; por otra, la notable densidad estelar, que favorece el nacimiento de objetos estelares bastante peculiares. Las colisiones entre estrellas constituyen todavía hoy uno de los campos más explotados en el estudio de los cúmulos globulares, sobre todo porque todavía no está del todo claro si los cúmulos caminan hacia su destrucción por efectos del medio o a causa de la evolución de las estrellas que lo componen.



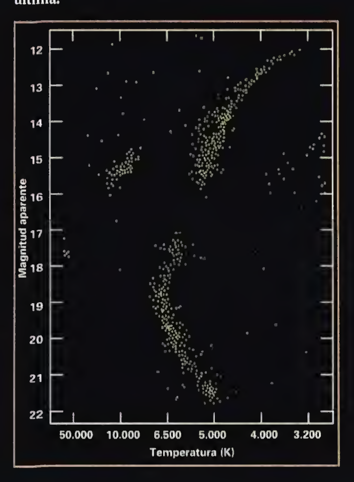
A la izquierda, imagen del cúmulo globular M13, en la constelación de Hércules, tratada de tal modo que aparecen al mismo tiempo las fuentes débiles y las muy brillantes. Este cúmulo, el más llamativo del hemisferio boreal, tiene una edad aproximada de diez mil millones de años. Su luminosidad total es unas 300.000 veces mayor que la del Sol. Dista de nosotros unos 25.000 años luz y se acerca a una velocidad de 250 km/s.

COLAPSO DEL NÚCLEO

Se cree que las interacciones entre las estrellas pueden desembocar en una contracción inicial del cúmulo hasta un punto en que la densidad de las regiones centrales es máxima (colapso del núcleo de un cúmulo globular). Es posible que después se invierta la tendencia y el cúmulo se expanda.

El estudio de estas distintas fases evolutivas en la vida de los cúmulos globulares requiere una notable cantidad de observaciones para lograr estimar el número de sistemas binarios presentes en los cúmulos y por tanto averiguar el número de colisiones que pueden haberlos producido.

De esta manera se modela la evolución dinámica de un sistema estelar hasta prever su evolución última.



A la derecha, diagrama HR del cúmulo globular M13. Los diagramas HR de los cúmulos globulares son fundamentales para deducir la edad de un cúmulo y estudiar la evolución estelar.

TRIÁNGULO AUSTRAL-COMPÁS

Las constelaciones del Triángulo Austral y del Compás se encuentran en pleno hemisferio celeste meridional, cerca de la constelación del Centauro.



El Compás *(Circinus)* y el Triángulo Austral no poseen estrellas muy luminosas, pese a lo cual son más fácilmente observables que otras constelaciones del cielo meridional.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

La proximidad de estas constelaciones con la del Centauro las hace pasar, por desgracia, a un segundo plano. No obstante, también facilita la manera de localizarlas.

La constelación del Compás se encuentra inmediatamente al este de Alfa Centauri, mientras que la del Triángulo Austral está más hacia oriente.

ESTRELLAS PRINCIPALES

El astro más brillante de las dos constelaciones es la estrella Alfa de la constelación del Triángulo Austral, del que constituye uno de los vértices. Esta estrella es una gigante que brilla con luz anaranjada y magnitud 1,9. A veces, Alfa recibe el nombre de Atria, contracción de Alfa Trianguli Australis (Alfa del Triángulo Austral).

Los otros dos vértices del Triángulo Austral vienen dados por las estrellas Beta (magnitud 2,9), de color blanco, y Gamma (la misma magnitud), que brilla con luz blancoazulada.

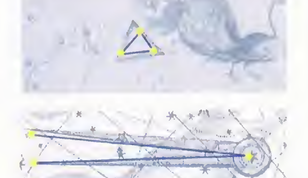
En esta constelación, la estrella indicada con las letras LP es una variable cuyos cambios de luminosidad sólo son perceptibles a través de sensores electrónicos, pues varía sólo en 33 milésimas de magnitud en torno al valor 5,1. No obstante, esta estrella tiene su importancia porque pertenece a una clase de estrellas caracterizadas por intensos campos magnéticos en la superficie, cuyo prototipo es la estrella Alfa de la constelación septentrional de los Perros de Caza.



Fotografía del campo estelar en el que está situada la constelación del Triángulo Austral.

En el Compás domina la correspondiente Alfa; también este astro pertenece a la clase de variables de tipo Alfa de los Perros de Caza: su magnitud es de 3,2 con variaciones de 0,03, detectables sólo con instrumentos electrónicos, pues el ojo humano detecta como máximo variaciones del orden de 0,1 magnitudes. Además, Alfa tiene una compañera de magnitud 8,6 situada a unos quince segundos de arco y observable con un telescopio pequeño.

También es doble Gamma (magnitud 4,5), cuyo astro secundario es una estrella de quinta magnitud; pero este sistema, dada la gran proximidad entre las dos componentes, requiere aberturas superiores a los 15 cm para resolverlo.



Las constelaciones del Triángulo Austral y del Compás fueron introducidas, respectivamente, en los siglos XVII y XVIII.

OBJETOS DE LAS CONSTELACIONES

El objeto más fácilmente observable de estas constelaciones es el cúmulo abierto NGC 6025. Para hallarlo basta mirar hacia Gamma y desplazarse hacia Beta hasta rebasar esta estrella. A lo largo de esta recta, a unos 3° de Beta, se encuentra NGC 6025.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

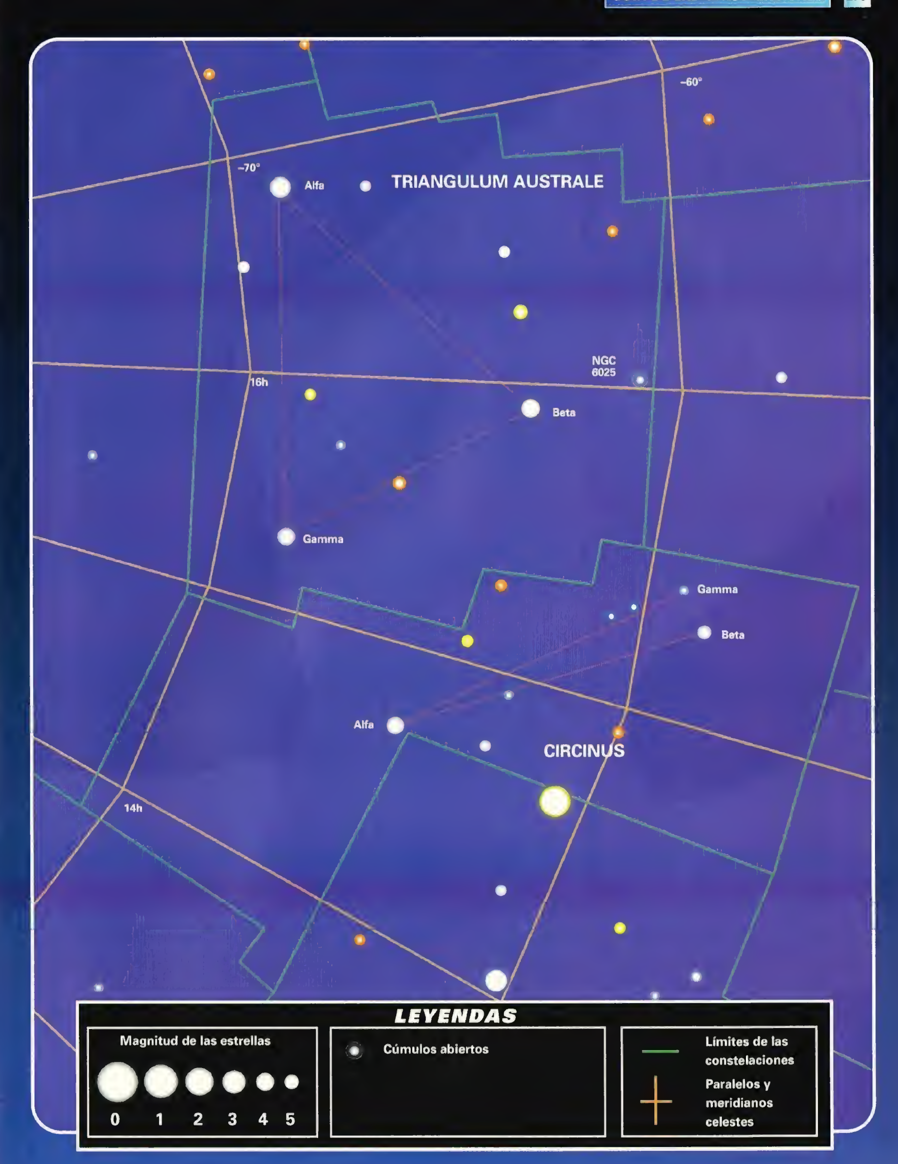
TRIÁNGULO AUSTRAL-COMPÁS

Las constelaciones del Compás y del Triángulo Austral tienen distinto origen. La primera fue introducida por el padre Lacaille en el siglo XVIII. La segunda fue inventada por navegantes holandeses hacia finales del siglo XVI; en 1603 hizo su aparición en el famoso atlas *Uranometria* de Bayer. El Compás, dada su posición en el cielo, entre el Triángulo Austral y el Centauro, se representa como un compás cerrado.

DÓNDE BUSCARLAS

TRIÁNGULO AUSTRAL-COMPÁS

El Triángulo Austral y el Compás se encuentran en oposición al Sol hacia mediados de mayo, por lo que pertenecen a la clase de constelaciones que mejor se ven en primavera. No obstante, dada su ubicación en el cielo, son completamente inobservables desde latitudes como las españolas. El Triángulo Austral abarca una región del cielo comprendida entre las 14 horas 50 minutos y las 17 horas 10 minutos de ascensión recta y entre –60 y –70° de declinación. El Compás está limitado entre las 13 horas 35 minutos y las 15 horas 25 minutos de ascensión recta y entre –55 y –70° de declinación.


-60°
-70°
Alfa
TRIANGULUM AUSTRALE
NGC
6025
16h
Beta
Gamma
Gamma
Beta
Alfa
CIRCINUS
14h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0
1
2
3
4
5
Cúmulos abiertos
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LAS REACCIONES QUÍMICAS

Cuando pensamos en las reacciones químicas, de inmediato nos vienen a la mente laboratorios llenos de alambiques y probetas. Pero procesos similares a éstos se producen también en todos los organismos vivientes, incluido el nuestro, e incluso en el espacio.



Miremos a nuestro alrededor desde la orilla del mar. Frente a nosotros se extiende una enorme cantidad de agua que sabemos que no es potable; en cambio, si estamos junto a un río, podremos sacar agua y beberla siempre que no esté contaminada.

¿En qué estriba la diferencia entre el agua de mar y el agua de río?

Si analizáramos los dos líquidos veríamos que en el agua de mar hay muchas sales, unas sustancias que en el río están presentes en una proporción mínima o incluso faltan por completo.

Lo que distingue las dos aguas, por tanto, es la composición química.

La química es la ciencia que se ocupa de las propiedades y la estructura de la materia, así como de sus transformaciones.

¿QUÉ ES UNA REACCIÓN QUÍMICA?

Para saber qué se entiende por reacción química basta un simple experimento.

Tomemos una cucharada de bicarbonato de sodio (utilizado para esterilizar alimentos) y diluyámoslo en un poco de agua. En la disolución de bicarbonato así obtenida se vierte un poco de vinagre, lo cual provoca la formación de burbujas de gas.

¿Qué ha sucedido? El bicarbonato disuelto en el agua y el vinagre añadido han reaccionado entre sí dando origen a un nuevo compuesto, una sal que permanece en disolución en el agua y libera otro compuesto, el gas que vemos salir en forma de burbujas, que no es otra cosa que dióxido de carbono. Si buscásemos bicarbonato o vinagre en la solución encontraríamos sólo aquel de los dos que se echó en cantidad mayor; la cantidad hallada es la sobrante de un compuesto una vez agotado el otro en la reacción.

Otra reacción, a la cual asistimos cotidianamente cuando cocinamos, es la que transforma el gas de la cocina y el oxígeno atmosférico en dióxido de carbono, vapor de agua y otros compuestos volátiles, liberando el calor que cuece los alimentos.

¿CÓMO SE PRODUCEN LAS REACCIONES QUÍMICAS?

Las dos reacciones descritas parecen diferir en un aspecto: mientras que la primera parece producirse espontáneamente, la segunda necesita ser «inducida» por un hecho externo; no basta abrir la espita del

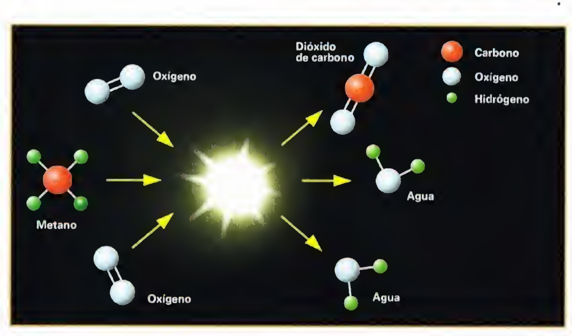


Vista aérea de Ciudad de México. En la naturaleza hay unas sustancias, llamadas catalizadores, que favorecen la producción de reacciones químicas. Materiales similares se utilizan en los tubos de escape de los automóviles para reducir la emisión de gases contaminantes y mejorar la calidad del aire, normalmente comprometida por los gases tóxicos que producen los vehículos.



En todo el universo tienen lugar reacciones químicas (arriba). La vida se debe probablemente a reacciones químicas ocurridas en el espacio hace miles de millones de años. Estas reacciones produjeron sustancias que luego fueron transportadas a la Tierra por meteoritos o cometas.





Cuando una molécula de metano reacciona con dos de oxígeno, se forman dos moléculas de agua y una de dióxido de carbono.

gas para que se forme la llama; es preciso, además, acercar una llama ya formada o un encendedor que provoque una chispa.

Esta necesidad surge del mecanismo que gobierna las reacciones químicas. Se puede producir una reacción entre dos o más compuestos distintos si las moléculas de éstos chocan con suficiente energía para romper los enlaces que unen los átomos que los componen y reordenarlos de tal modo que creen nuevas moléculas.

Según un principio que se remonta al padre de la química moderna, el francés Lavoisier, el número y el tipo de átomos que participan en una reacción química no cambia, sólo cambia el modo como se combinan.

Consideremos por ejemplo una molécula de metano, formada por cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono unidos entre sí. Se trata de una molécula estable, un compuesto que normalmente no se destruye espontáneamente. No obstante, si con ella chocan con suficiente fuerza dos moléculas de oxígeno, formada cada una por dos átomos de este gas, el metano se descompone y otro tanto le ocurre a las dos moléculas de oxígeno; los átomos individuales se recombinan entre sí dando una molécula de dióxido de carbono,



En el interior de las plantas (a la derecha) tiene lugar la fotosíntesis, una reacción importantísima para la supervivencia de la mayor parte de las especies que viven en la Tierra. Gracias a la luz solar, el dióxido de carbono se escinde y libera oxígeno a la atmósfera.



En las reacciones químicas entran en juego distintas cantidades de energía; ésta puede absorberse o, como sucede en las combustiones, emitirse.

formada por un átomo de carbono y dos de oxígeno, y dos moléculas de agua, cada una de las cuales consta de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Las moléculas resultantes también son estables, incluso más que las de partida, y para romperlas es preciso suministrar una gran cantidad de energía.

Podemos imaginar las moléculas iniciales, llamadas reactivos, y las finales, llamadas productos, como agregados de bolitas que se mueven por el fondo de dos valles vecinos separados por una montaña; para pasar de un valle a otro y formar los productos, los reactivos deben empezar por subir la montaña, para lo cual deben recibir energía en cantidad suficiente. Una vez alcanzada la cima, pueden bajar al valle vecino liberando energía.

Si el nivel energético del valle final es menor que el del valle inicial, la energía liberada será mayor que la absorbida y la reacción global producirá energía. En cambio, la reacción absorberá energía si el valle de los productos se encuentra en un nivel más alto que el de los reactivos.

Las reacciones del primer tipo, como por ejemplo las de combustión, que liberan gran cantidad de energía en forma de calor, se llaman exotérmicas, mientras que las del segundo tipo reciben el nombre de endotérmicas.

No es de extrañar que una reacción de combustión, una vez iniciada, prosiga espontáneamente: el calor liberado suministra la energía necesaria para provocar nuevas reacciones, rompiendo las moléculas de los reactivos y produciendo más calor.

TUBOS DE ESCAPE CATALÍTICOS

Por consiguiente, para que una reacción pueda producirse es necesario que a los reactivos se les suministre una cierta cantidad de energía, llamada de activación. Existen unos materiales, llamados catalizadores, que pueden favorecer las reacciones químicas.

Un ejemplo de catalizador viene dado por un metal precioso, el platino, que tiene la capacidad de mantener en su superficie los reactivos, lo cual reduce la energía de activación y hace posible que las reacciones se produzcan más fácilmente.

La aplicación tal vez más conocida del platino en la vida cotidiana se da en los tubos de escape catalíticos de los automóviles, en cuyo interior el metal permite que los gases producidos por la combustión del carburante se combinen completamente con el oxígeno originando compuestos más estables y menos peligrosos para la salud.

PERSONAJES

ANTOINE-LAURENT LAVOISIER



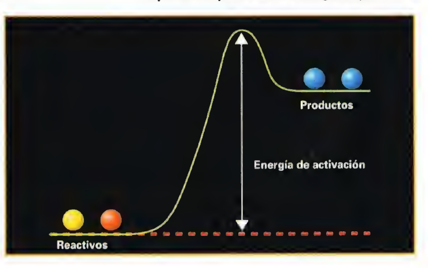
1743-1794

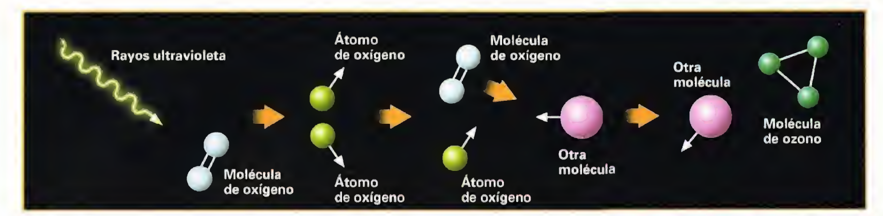
Antoine-Laurent Lavoisier nació en 1743 y murió guillotinado en 1794, víctima del Terror instaurado durante la Revolución francesa.
A él se debe la formulación del llamado «principio de conservación de la masa», según el cual «nada se crea ni se destruye».
Lavoisier significa el inicio de la química moderna y el fin de las teorías no basadas en hipótesis científicas, como la del flogisto, un fluido supuestamente liberado durante la combustión. La correcta interpretación de estos fenómenos como reacciones químicas fue obra del químico francés.
A Lavoisier se debe también la distinción entre elementos y compuestos químicos.

Una reacción exotérmica, que emite energía, tiene lugar cuando los reactivos, una vez absorbida la energía de activación, dan origen a unos productos que tienen una energía menor.



Una reacción endotérmica, en la cual se absorbe energía, se produce cuando los reactivos, una vez recibida la energía de activación, dan origen a productos que tienen una energía mayor.





La reacción que produce el ozono la inducen los rayos ultravioleta del Sol al escindir una molécula de oxígeno. Los átomos así producidos se combinan con otras moléculas de oxígeno y dan lugar al ozono. Se llaman fotorreacciones aquellas que tienen lugar gracias a la acción de la luz.

El motivo por el cual el uso de gasolina no adaptada al tubo de escape catalítico daña irreparablemente este dispositivo estriba en que la común gasolina súper contamina el platino del catalizador e impide su acción.

REACCIONES EN EL ESPACIO

También en el espacio se producen reacciones químicas, aunque muy obstaculizadas por la baja densidad de los gases que actúan como reactivos. Incluso en las nubes más densas de gas y polvo galáctico, la densidad (átomos por metro cúbico) es con mucho inferior al mejor vacío que se puede conseguir en la Tierra.

En tales condiciones es bastante improbable que dos moléculas entren en contacto, pero debido a los grandes volúmenes en juego y a los largos tiempos disponibles, en las profundidades siderales se acaban produciendo choques entre las moléculas y por lo tanto reacciones químicas.

A favor de las reacciones juega otro factor: cerca de las nubes galácticas se encuentran las estrellas nacidas en ellas; estos astros emiten gran cantidad de radiación que suministra la energía necesaria para que tengan lugar las reacciones químicas.

A menudo, la radiación es tan energética que ioniza el gas que atraviesa y los gases ionizados reaccionan más fácilmente.

En estas condiciones, no debe extrañar que en las nubes galácticas se hayan descubierto moléculas de complejidad relativa, como simples aminoácidos y otros compuestos orgánicos.

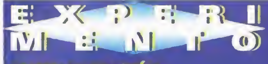
Según una teoría reciente, la aparición de la vida en la Tierra se debería a la difusión en nuestro planeta de moléculas formadas en el espacio y llevadas al planeta azul por meteoritos y cometas.



Los organismos vivos constituyen unos auténticos laboratorios químicos en los que se producen continuamente las reacciones que liberan la energía necesaria para la supervivencia.

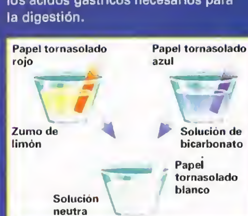


En las nubes galácticas, como el Saco de Carbón de la constelación de la Cruz del Sur, los radiotelescopios han descubierto moléculas relativamente complejas.



NEUTRALIZACIÓN

Entre las reacciones que pueden realizarse en casa, las más interesantes son las de neutralización.
Compramos papel tornasolado y preparamos dos soluciones de la manera siguiente.
Vertemos una cucharada de bicarbonato en un vaso de agua y agitamos bien el líquido; en un segundo vaso de agua echamos zumo de limón y mezclamos también.
Si ahora sumergimos sendos pedazos de papel tornasolado en los vasos, veremos que se tiñe de rojo en el caso del zumo de limón y de azul en el del bicarbonato.
Estos colores indican que la primera solución es ácida, mientras que la segunda es básica.
En un tercer vaso, vacío esta vez, vertemos parte de la solución de limón; si ahora comenzamos a añadir la solución que contiene bicarbonato veremos, gracias al papel tornasolado, que su acidez va disminuyendo a medida que aumenta la cantidad de base añadida.
Durante esta operación, se emite dióxido de carbono en forma de burbujas gaseosas y al término de ella queda una solución con propiedades... digestivas. El bicarbonato se utiliza para reducir la acidez de estómago precisamente por su capacidad para neutralizar los ácidos, incluidos los ácidos gástricos necesarios para la digestión.



NO SÓLO SATÉLITES

Los globos estratosféricos y los cohetes constituyen una importante ayuda a la investigación en el campo de la ciencia astronómica, pues sirven para estudiar no sólo la atmósfera de la Tierra sino también el espacio exterior.



Estamos acostumbrados a los satélites artificiales y con razón, pues estos ingenios mejoran nuestra vida cotidiana favoreciendo las comunicaciones telefónicas y televisivas, controlando la situación meteorológica y contribuyendo a la investigación científica en general y a la astronómica en particular. En este último campo, los satélites han supuesto una auténtica revolución, pues han permitido unas observaciones que desde la Tierra son imposibles a causa de la presencia de la atmósfera.

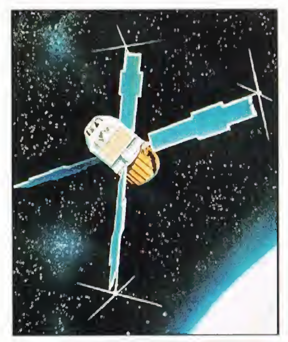
Pero no siempre ha sido así. Sólo han transcurrido cuarenta años desde el lanzamiento del primer satélite, el histórico Sputnik soviético, y ya antes hubo tentativas pioneras de llevar instrumentos científicos a gran altura por medio de globos estratosféricos y cohetes.

Estos lanzadores, que pueden parecer anacrónicos, se utilizan todavía en astronomía para determinados estudios y observaciones.

LOS COMIENZOS DE LA ASTRONOMÍA X

Como es sabido, las observaciones astronómicas a la longitud de onda de los rayos X son imposibles de realizar en la superficie terrestre a causa de la atmósfera, que absorbe completamente tales radiaciones. Los pioneros en este campo, por tanto, se dieron cuenta de que era necesario lanzar los instrumentos más allá de la atmósfera por medio de algún tipo de vector.





Representación del satélite UHURU, diseñado por el astrónomo italiano Riccardo Giacconi y sus colegas. Giacconi fue un pionero de la astronomía X en el período en que los instrumentos para estas medidas iban a bordo de globos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los medios considerados más adecuados para tal fin fueron cohetes derivados de las V2, los mortíferos cohetes-bomba con los que los alemanes realizaron bombardeos a larga distancia, como por ejemplo contra la ciudad de Londres. Estos cohetes alcanzaban una altura de unos 100 km, suficiente para las observaciones en la banda X.

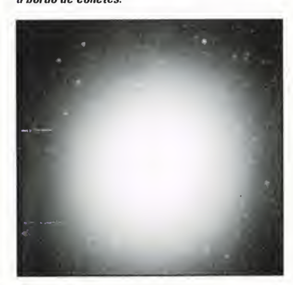
Los primeros cohetes utilizados para tal fin llevaban a bordo detectores (típicamente contadores proporcionales, similares a los contadores Geiger) sensibles a los rayos X de energía relativamente baja, entre 1 y 10 keV (el electronvoltio, o eV, es una unidad de medida utilizada en física de partículas igual a la energía que adquiere un electrón sometido a la diferencia de potencial de un voltio; 1 keV es igual a 1.000 eV).

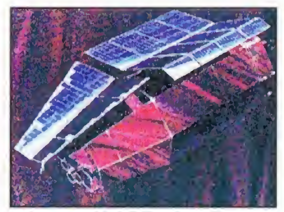
En la imagen de la izquierda, la nebulosa del Cangrejo, situada en la constelación de Tauro. Se trata de una importante fuente de rayos X y una de las primeras de este tipo que fueron descubiertas.

Con este tipo de instrumento el astrofísico italiano Riccardo Giacconi, en colaboración con sus colegas Herbert Gursky, Frank Paolini y Bruno Rossi, descubrió el fondo X extragaláctico, radiación medible en todas las direcciones del espacio e imputable a fuentes que se encuentran fuera de la Vía Láctea; con los mismos instrumentos estos investigadores observaron en 1962 la primera fuente no difusa (esto es, producida por una fuente discreta) fuera del sistema solar, llamada Sco-X1 porque es visible en la dirección del cielo donde se encuentra la constelación del Escorpión.

Ya en 1948 se había descubierto la primera fuente de rayos X: el Sol. Para la observación se utilizó una V2 equipada con una película fotográfica como detector; la primera auténtica imagen de rayos X de nuestra estrella se tomó en 1960 por medio de un cohete.

Abajo, imagen fuertemente elaborada de la galaxia elíptica gigante M87 que pone de relieve sus cúmulos globulares. Esta galaxia fue una de las primeras fuentes de rayos X que se descubrieron en los años sesenta, gracias a medidas efectuadas mediante instrumentos a bordo de cohetes.





Arriba, esquema del satélite HEAO-2, más conocido como satélite Einstein. También fue obra de Giacconi, cuando la astronomía X con globos pertenecía ya a la historia de la astronomía.

GLOBOS ADEMÁS DE COHETES

El uso de globos, en vez de cohetes, permitió observaciones de mayor duración temporal (unas 10 horas) a cotas del orden de los 40 km. Además, los globos podían llevar cargas científicas de gran tamaño y utilizar contadores de centelleo. No obstante, la escasa altura alcanzada (comparada con la de los cohetes) permitía observar sólo los rayos X más «energéticos» –de energía superior a 20 keV– que lograban penetrar una capa más gruesa de atmósfera. Cohetes y globos eran en cierto modo complementarios: juntos, permitieron realizar observaciones X entre 20 y 60 keV. Con ellos se detectaron, además, la emisión X de la nebulosa del Cangrejo y la emisión intermitente del púlsar que contiene. Se observó también una fuente transitoria (no constante) que en el máximo igualaba la luminosidad de Sco-X1; en una ocasión, esta última mostró un *flare* (esto es, un súbito aumento de brillo) de unos 20 minutos de duración. También se detectaron rayos X al observar la galaxia elíptica gigante M87.



Fotografía del Sol durante un eclipse total. Ya en 1948 se descubrió que el Sol era una fuente de rayos X. En aquella época las observaciones a estas longitudes de onda se realizaban con instrumentos a bordo de cohetes derivados de las mortíferas V2 alemanas, utilizadas para bombardeos a larga distancia durante la Segunda Guerra Mundial.

GLOBOS Y AURORAS

En nuestros días también se utilizan globos para observaciones astronómicas (no sólo para las meteorológicas, que son las más habituales).

Por ejemplo, está en marcha un proyecto, en el que participan grupos de investigadores suecos, rusos, franceses y estadounidenses, dedicado al estudio de las auroras polares, los espectaculares fenómenos luminosos debidos a la





A la derecha, imagen del globo lanzado en diciembre de 1990 desde la base antártica de McMurdo. El artefacto voló a una altura de 40 km, cruzó distintas latitudes y estudió las características magnéticas de varias regiones alrededor del polo Sur.

A la izquierda, momento del lanzamiento de uno de los globos del proyecto INTERBOA desde la base de Kiruna (Suecia), en agosto de 1996. Esta campaña de observaciones se dedicó al estudio de las auroras polares.



Lanzamiento de un globo estratosférico desde la base de McMurdo, en la Antártida. El artefacto llevaba a bordo varios experimentos y una cámara X destinada al estudio de los rayos X generados cuando los electrones de la magnetosfera inciden sobre la atmósfera de nuestro planeta a unos 100-130 km de altura. El lanzamiento tuvo lugar el 21 de diciembre de 1990 y el vuelo duró unos ocho días, con un recorrido de unos 1.600 km alrededor del polo Sur.

interacción entre las partículas emitidas por el Sol y el campo magnético terrestre. Globos estratosféricos lanzados desde Kiruna, en Suecia, han recogido más de 100 horas de datos a unos 35 km de altitud con los instrumentos que llevan a bordo, que comprenden magnetómetros, instrumentos para la medida del campo eléctrico, espectrómetros de rayos X, contadores Geiger, espectrómetros de germanio y otros instrumentos.

TAMBIÉN EL MEDITERRÁNEO

La ASI (Agencia Espacial Italiana) dispone de una base, la base Milo, situada cerca de Trapani y específicamente destinada al lanzamiento de globos estratosféricos. Su posición, geográficamente estratégica, es ideal para los vuelos de estos globos, incluso para los de larga duración, como los vuelos por el Mediterráneo hasta las costas





Fase de la preparación para el lanzamiento de la carga útil (el equipo para las medidas científicas) de un globo de la campaña INTERBOA.

españolas. Los servicios de la base incluyen detecciones meteorológicas, el control remoto de globos y la recepción en tiempo real de los datos científicos producidos por las misiones.

GLOBOS EN OTROS PLANETAS

Un ulterior empleo de instrumentos en globos prevé el uso de éstos en exploraciones de otros planetas del sistema solar. Es evidente que su utilización debe restringirse a aquellos planetas que tienen atmósfera, como es el caso de Venus y Marte, o a satélites como Titán (una luna de Saturno), porque no pueden volar en ausencia de ella.

Por ejemplo, las dos sondas soviéticas Vega, lanzadas hacia Venus en 1984, soltaron en la atmósfera del planeta sendos globos de 3,4 m de diámetro a una altitud de unos 54 km. Se trataba de globos de «sobrepresión», hechos de un material inelástico hinchado a una presión superior a la del medio en el cual estaban destinados a volar. Este tipo de globos planean a una altura sustancialmente estable de equilibrio y se mueven horizontalmente. Los globos de las sondas Vega llevaban colgada de un hilo de unos 13 m una especie de «góndola» en la cual iba alojada una carga útil de 6,9 kg con los instrumentos para las medidas científicas; el peso total de la estructura era de unos 150 kg. Estos globos volaron durante decenas de horas; fueron transportados en dirección oeste por los vientos y recorrieron unos 10.000 km a una velocidad media de más de 200 km/h. Su misión consistía en estudiar el movimiento, la estructura y las propiedades a pequeña y gran escala de las nubes venusianas a la cota de vuelo. Se realizaron medidas de presión, temperatura, velocidad vertical del viento e iluminación, en unas condiciones atmosféricas muy variables, con vientos verticales de varios metros por segundo que en algunos casos obligaron a descender 2 o 3 km respecto a la cota de equilibrio. Las misiones tuvieron un notable éxito y similares dispositivos están en estudio para la exploración de otras atmósferas planetarias extraterrestres.

A la izquierda, vista desde una colina próxima del lanzamiento del primer globo del INTERBOA. Esta campaña, llevada a cabo por grupos de investigadores de distintos países, tiene como objetivo el estudio de las auroras polares.

PERSONAJES

RICCARDO GIACCONI 1931

Licenciado por la Universidad de Milán con una tesis sobre los rayos cósmicos, Giacconi fue muy pronto a trabajar a Estados Unidos. En 1959 fue contratado por la American Science and Engineering, una empresa de Massachusetts en la cual comenzó sus estudios sobre astronomía X. Su grupo desarrolló la técnica de la incidencia rasante para los telescopios X y los instrumentos así equipados fueron lanzados por medio de cohetes. En 1962, Giacconi descubrió Sco-X1, la primera fuente X exterior al sistema solar. Más tarde participó en el desarrollo del cohete UHURU, que confeccionó el primer mapa del cielo con rayos X. También para observaciones a esta longitud de onda, Giacconi dirigió la construcción del satélite HEAO-2, más conocido como Einstein, y la realización de la correspondiente misión. En tiempos más recientes, Giacconi ha sido el primer director del Space Telescope Science Institute y luego el director del ESO (European Southern Observatory).

Los globos aerostáticos corrientes son similares a los científicos, pero suelen funcionar con aire caliente. Los globos científicos, en cambio, recurren generalmente al helio. Este gas, más ligero que el aire, permite a los globos alcanzar mayores alturas.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

FAMILIAS DE ASTEROIDES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

CAMPOS MAGNÉTICOS GALÁCTICOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

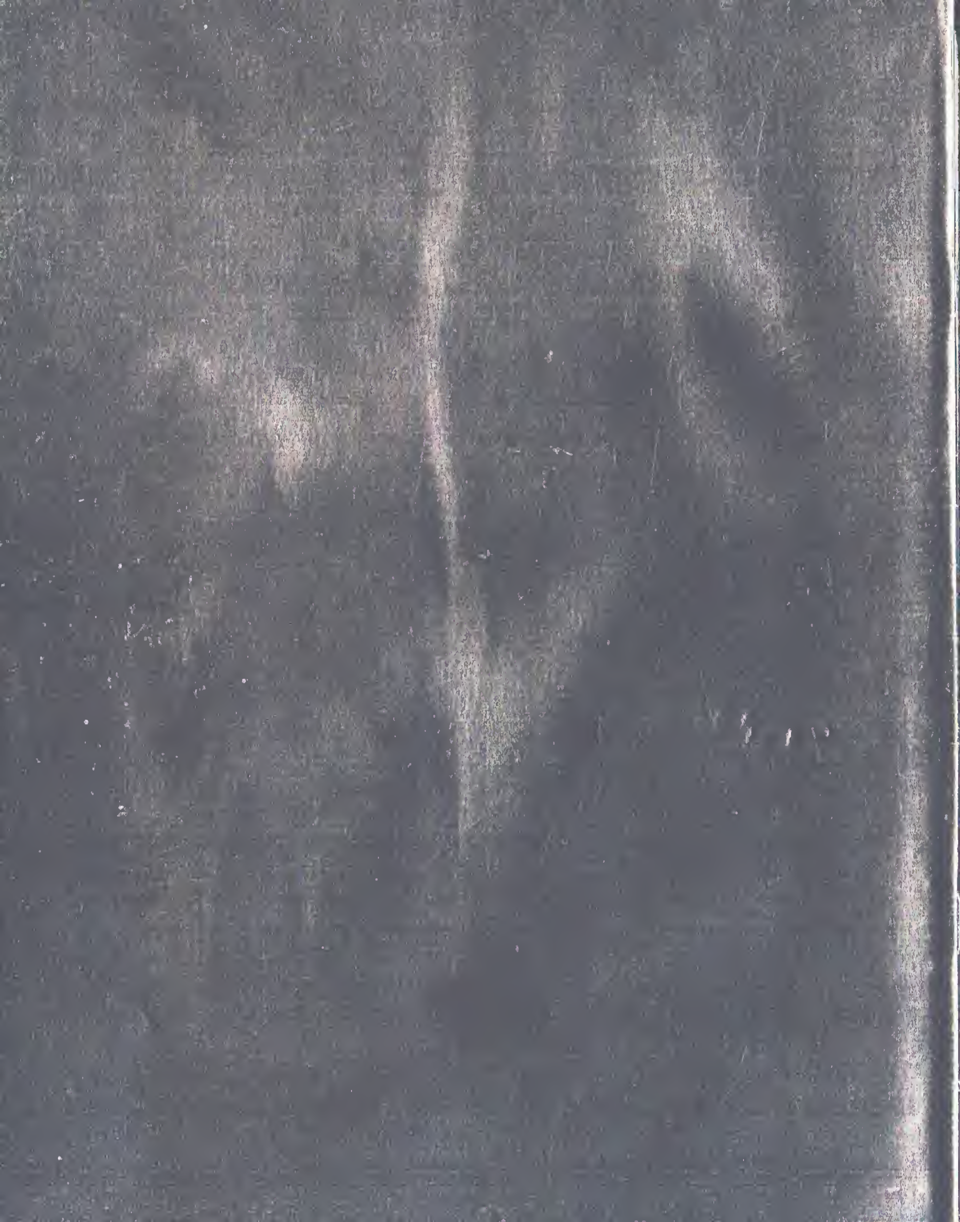
LA FLECHA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LAS MISIONES PHOBOS HACIA FOBOS

EL USO DEL ESPACIO

EL COLUMBUS ORBITAL FACILITY



EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

63



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Brinock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.



PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

- Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

/ / / / / / / / /

/ / / / / / / / /

N.º de tapas que solicita:

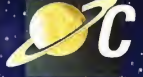
Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

- Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

FAMILIAS DE ASTEROIDES

Los pequeños cuerpos del sistema solar descubiertos a partir de 1801 por el padre Giuseppe Piazzi, los asteroides o pequeños planetas, suelen agruparse en varias familias. Se cree que estas asociaciones se produjeron a causa de acontecimientos catastróficos o de perturbaciones gravitatorias ejercidas por los planetas mayores, que confinan los asteroides a unas determinadas zonas del sistema solar.

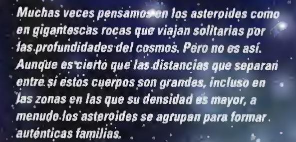


Cuando en la noche de Año Nuevo de 1801 el padre Giuseppe Piazzi descubrió el primero y el mayor de los asteroides, Ceres, probablemente no podía imaginar que había encontrado uno de los elementos de un numerosísimo grupo de objetos que inmediatamente había de atraer la atención de los científicos.

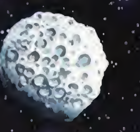
En los años siguientes, los descubrimientos de cuerpos similares a Ceres se multiplicaron, y hoy, gracias también a la colaboración de astrónomos aficionados, el número de asteroides conocidos se eleva ya a varios millares.

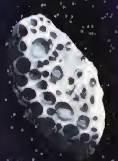
ESTRUCTURAS EN LA FRANJA PRINCIPAL

La mayor parte de los asteroides ocupa una vasta zona comprendida entre las órbitas de Marte y Júpiter. Esta zona es conocida como «franja principal» o «cinturón de asteroides».



Muchas veces pensamos en los asteroides como en gigantescas rocas que viajan solitarias por las profundidades del cosmos. Pero no es así. Aunque es cierto que las distancias que separan entre sí estos cuerpos son grandes, incluso en las zonas en las que su densidad es mayor, a menudo los asteroides se agrupan para formar auténticas familias.





En el sistema solar, los asteroides son más densos en zonas preferentes gracias al juego de las atracciones gravitatorias debidas a los planetas gigantes. La parte más densamente poblada es la llamada «franja principal», situada entre Marte y Júpiter. Existe también un doble grupo de asteroides que orbitan a lo largo de la trayectoria de Júpiter, en dos posiciones situadas a 60° del planeta mayor.

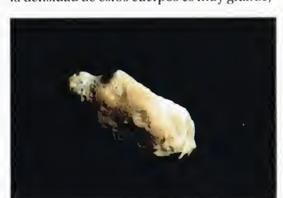
Naturalmente, existen muchos asteroides que transitan sólo durante un breve período por la franja principal o están fuera de ella.

La franja principal no está poblada homogéneamente por los asteroides, sino que tiene unas zonas privilegiadas en las que la densidad de estos cuerpos es muy grande, y otras que, por el contrario, los asteroides parecen rechazar.

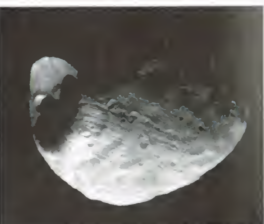
La estructura de la franja principal recuerda, pues, la de los anillos de Saturno, con zonas más densas en materia y otras más pobres. El motivo de esta estructura heterogénea hay que buscarlo en la acción gravitatoria de los planetas gigantes. De la misma manera que los anillos de Saturno están modelados por la acción de las lunas de este planeta, la franja principal de los asteroides sufre la influencia de la atracción gravitatoria de Júpiter y de los otros planetas exteriores de gran masa.

Existen zonas en las que tiene lugar un fenómeno llamado resonancia: un cuerpo que se halla en tal zona encuentra a Júpiter, por ejemplo, en la misma posición después de un número entero de órbitas. Suponiendo que en un momento dado Júpiter y el asteroide en cuestión estén en el mismo lado del Sol, después de cierto número de trayectos orbitales del asteroide los dos objetos celestes se encontrarán en las mismas condiciones de partida. En tal caso, la acción gravitatoria de Júpiter se explica siempre de la misma manera: actuando más o menos como una persona que empuja un columpio con el sincronismo justo, mientras aumenta la amplitud de las oscilaciones.

El efecto de un empuje gravitatorio sincronizado con el período orbital lleva, poco a poco, al cuerpo atraído fuera de su órbita original, mientras lo aparta de la zona de resonancia.



Ida no es una roca aislada en el espacio, sino que pertenece a una familia de asteroides que sin duda tuvieron un origen común: nacieron de la destrucción de un objeto más grande.



Las influencias gravitatorias de los planetas pueden hacer que un asteroide sea «capturado». Se piensa que esto es lo que ocurrió con Fobos y Deimos, los satélites de Marte.

Es muy probable que el grupo de asteroides conocido como «familia de Eos» tuviera su origen en la fragmentación de un cuerpo de dimensiones mayores, producida por la colisión con otro asteroide.



Por tanto, las zonas de resonancia van quedando empobrecidas por el efecto del empuje de los planetas gigantes.

LA ILÍADA EN ÓRBITA

Así pues, la primera división en familias la establecen los planetas gigantes, auténticos «escultores» de la estructura del cinturón de asteroides.

Sin embargo, existen otros grupos interesantes de asteroides cuyo origen no depende de los efectos de resonancia.

Un típico ejemplo de este segundo tipo de familias lo constituyen dos grupos de los llamados asteroides «troyanos», nombre que se les ha dado en memoria de los personajes de la guerra de Troya. Estos cuerpos orbitan alrededor del Sol a la misma distancia de Júpiter.

Fue el gran científico Lagrange quien previó la existencia de diversos puntos de equilibrio en un sistema formado por dos cuerpos, uno de los cuales orbita alrededor del otro.

Algunos de estos puntos son de equilibrio inestable, lo que significa que un pequeño desplazamiento del punto de equilibrio aleja para siempre de él un cuerpo que allí se encuentre. Sin embargo, otros son estables y, por tanto, un objeto que se encuentre próximo a tales puntos permanecerá allí a menos que sea desplazado lejos.

Dos de los puntos de equilibrio estable se encuentran a lo largo de la órbita del cuerpo orbitante, y las líneas que los unen al cuerpo central forman ángulos de 60° con la línea que une los dos objetos principales.

Una vez conocido este resultado de Lagrange, los astrónomos se lanzaron a la búsqueda de objetos colocados en tales posiciones estables. Su atención se centró en Júpiter. Al cabo de poco tiempo empezaron los descubrimientos de asteroides situados en diversos puntos lagrangianos, los llamados puntos L4 y L5. Los componentes de estas dos familias se llamaron «asteroides troyanos».

Júpiter no es el único objeto que tiene este tipo de compañeros a lo largo de su órbita. Se piensa que todos los planetas pueden tener asteroides así en las suyas.

LAS AUTÉNTICAS FAMILIAS

Lo que se ha visto hasta ahora constituye una especie de unión, consecuencia de la acción de los campos gravitatorios sobre objetos que inicialmente no guardaban relación entre sí. Es, más o menos, lo que ocurre en un matrimonio, cuando dos familias, al principio extrañas, se unen gracias al nexo contraído por dos de sus componentes.

Pero también entre los asteroides existen «lazos de sangre», por los que los componentes de una familia son como hermanos nacidos de un mismo progenitor.

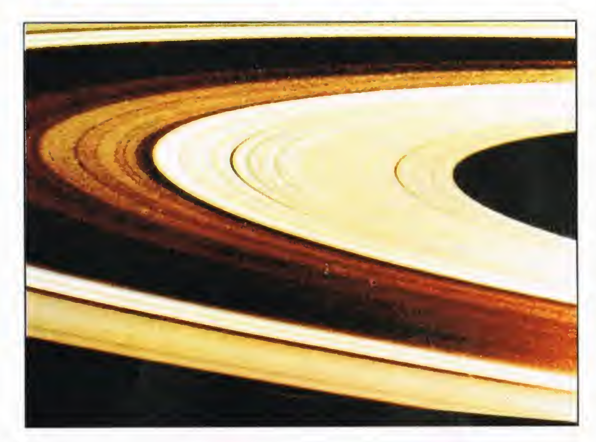
La mayoría de los asteroides tienen un diámetro mínimo, a lo sumo de varias decenas de kilómetros. Sólo en casos excepcionales llegan a medir varios centenares de kilómetros.

Debido a sus reducidas dimensiones, estos objetos tienen una forma francamente irregular. Además, sus superficies están densamente craterizadas, tal como se aprecia en las imágenes obtenidas en los últimos años por la sonda Galileo durante su aproximación a Gaspra e Ida.

Todo en el aspecto de estos cuerpos hace pensar en acontecimientos catastróficos, en



Un ejemplo significativo de lo que sucede cuando un objeto celeste se fragmenta lo ofrece el cometa Shoemaker-Levy-9, destruido por un encuentro con Júpiter: sus fragmentos no se dispersaron, sino que formaron una especie de «tren» a lo largo de la órbita originaria.



De la misma manera que el juego de las atracciones gravitatorias generadas por los satélites de Saturno hace que los anillos de este planeta se asemejen a un disco microsurco, también la acción de los planetas mayores modela la franja principal de los asteroides, creando auténticas lagunas, es decir, zonas en las que prácticamente no existen asteroides.

gigantescas explosiones que pudieron haber fragmentado objetos de dimensiones mayores en miríadas de asteroides de tamaño más pequeño.

En realidad, en este caso, no es correcto hablar de explosiones, ya que una explosión es un fenómeno que se relaciona con la ruptura de un cuerpo en infinitos fragmentos más pequeños a consecuencia de alguna catástrofe interna. En cambio, parece ser cierto que muchos de los asteroides tuvieron su origen en violentas colisiones entre dos pequeños planetas de dimensiones mayores.

En acontecimientos de este tipo, el choque entre dos objetos hace que éstos se rompan en muchísimos fragmentos cuyas órbitas, sin embargo, mantienen una especie de memoria como la que tuvieron los cuerpos generadores.

La confirmación del origen catastrófico de muchos asteroides se obtuvo gracias al estudio de los llamados parámetros orbitales, que no son más que la posición del plano orbital respecto a la eclíptica y la excentricidad, que nos indican el mayor o menor achatamiento de la elipse y la orientación del eje mayor de la órbita.

Fragmentos de un mismo objeto orbitarán en planos muy próximos entre sí, con excentricidades no muy diferentes y con los semiejes más o menos en la misma dirección.

Una de las familias de asteroides más famosas es la de Koronis. De ella forma parte Ida, uno de los asteroides visitados por la sonda Galileo durante su viaje de aproximación a Júpiter.

Los «hermanos» de Ida están relativamente dispersos por los vastos espacios del sistema solar. Por tanto, no será posible ver un sinnúmero de fragmentos que viajan juntos por el espacio, ya que las fuerzas que se desarrollaron durante la colisión causante de la fragmentación de los asteroides progenitores, así como las consiguientes perturbaciones producidas por la atracción gravitatoria de los planetas gigantes, alteraron levemente las órbitas de los asteroides que se formaron con el choque. Sin embargo, las modificaciones sufridas por las órbitas fueron lo suficientemente leves para que, todavía hoy, podamos reconocer que, alguna vez, un cierto grupo de objetos formaba parte de un planeta único.

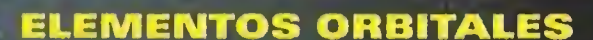
COPIAS FIELES

Algunos de los asteroides tienen órbitas que los llevan a distancias relativamente cortas de la Tierra. Se trata de los que en inglés se llaman Near Earth, es decir, «próximos a la Tierra». Ejemplos de este tipo son Toutatis y Eros. En cuanto al peligro potencial que estos asteroides representan para la vida de



Al igual que algunas familias de asteroides, también a veces los meteoritos forman parte de grupos, los llamados enjambres. En este caso, el enjambre se origina por la lenta descomposición de un cometa, que deja una estela de restos cuyos parámetros orbitales son una copia de los del cuerpo progenitor.

Gracias al estudio de los parámetros orbitales de los asteroides, se descubrió la existencia de agrupaciones de estos objetos. Sin embargo, para obtener estas importantes informaciones, hay que poder seguir estos cuerpos, pequeños y poco luminosos, durante largos periodos.



ELEMENTOS ORBITALES

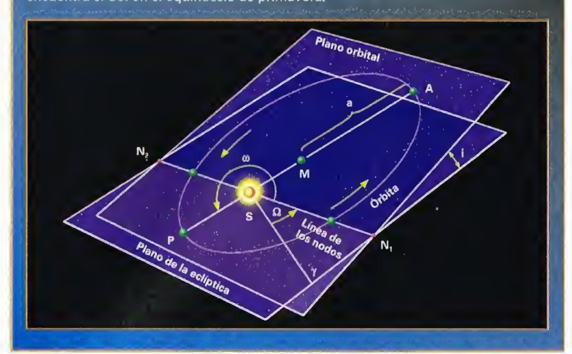
Para definir la órbita de un cuerpo celeste de manera exacta, hay que contar con algunos elementos que permitan reconstruirla en el espacio.

En una órbita elíptica como la de un asteroide, la excentricidad es el cociente entre los semiejes menor y mayor de la órbita. Nos indica el achatamiento de la elipse.

La inclinación respecto a la eclíptica, en cambio, nos da el ángulo formado entre el plano de la órbita terrestre y el del asteroide.

El semieje mayor proporciona la distancia entre afelio y perihelio, es decir, la distancia máxima y mínima al Sol.

Finalmente, la orientación de la línea de los nodos viene dada por el ángulo entre ésta, que es la línea derivada de la intersección entre el plano orbital y el de la eclíptica, y la dirección del punto gamma, es decir, la dirección en que se encuentra el Sol en el equinoccio de primavera.



nuestro planeta, digamos que una colisión con uno de ellos que tuviera unas dimensiones (y no son raros) de unos 10 km tendría consecuencias catastróficas para buena parte de las especies vivas. Por otra parte, las explosiones de los asteroides representan una interesante fuente de información sobre la forma y la naturaleza de estos cuerpos menores del sistema solar.

Actualmente las técnicas radar son lo suficientemente perfectas para revelar con muy buena aproximación la forma de un asteroide que esté pasando a pocos millones de kilómetros de la Tierra.

Precisamente Toutatis fue «explorado» mediante radar durante su aproximación a nuestro planeta, y los resultados de esta investigación mostraron que se trata de un asteroide doble. Lo mismo que Toutatis, también otros Near Earth presentan una naturaleza doble. En cuanto a las imágenes que la sonda Galileo envió tanto de Gaspra como de Ida, hacen pensar que en realidad estos dos objetos están formados por varios bloques en contacto.

Por eso, la última frontera de la asociación de asteroides es comparable a un núcleo familiar compuesto por pocas personas, en contraposición con las familias patriarcales y los «clanes» antes descritos. Por consiguiente, sería la unión de diversas masas lo que daría un asteroide de dimensiones mayores. El mecanismo que condujo a esta unión hay que buscarlo una vez más en el origen de cada uno de los fragmentos: una colisión no asegura que todos estos fragmentos sean proyectados en direcciones diferentes y que, por tanto, estén destinados a dispersarse más o menos en el espacio; algunos de ellos quedarán suficientemente cerca unos de otros para sentir la atracción gravitatoria recíproca y, por tanto, después de una separación inicial volverán a aproximarse y a reunirse para originar un fragmento mayor.



En los fuegos artificiales, los fragmentos del cohete que los ha originado parecen moverse independientemente uno de otro. Pero si intentamos reconstruir el movimiento del centro de masas de los fragmentos, veremos que se mueve a lo largo de la trayectoria original del cohete. De la misma manera, cuando en el sistema solar se produce un encuentro entre dos objetos, con destrucción de los dos cuerpos originarios, cada fragmento conserva la memoria del movimiento del cuerpo original.

CAMPOS MAGNÉTICOS GALÁCTICOS

Una de las conquistas astronómicas más importantes de este siglo ha sido el descubrimiento en las galaxias de unos eficientes campos magnéticos.



Un componente de nuestra Galaxia, invisible pero no por eso poco importante, es el campo magnético. En 1949, Enrico Fermi fue el primer científico que aventuró la hipótesis de la existencia de un campo magnético galáctico, la llamada magnetosfera galáctica.

Su idea era la siguiente: es sabido que una carga eléctrica en movimiento produce un campo magnético. El gas interestelar está compuesto, al menos en parte, de partículas cargadas, y éstas, a causa de su movimiento turbulento, generan un campo magnético.

Fermi calculó teóricamente el valor de este campo, cuyas medidas no pudieron efectuarse hasta muchos años después. Pensó que lo más probable era que desde la época de la formación de nuestra Galaxia hasta hoy, la densidad de energía cinética habría llegado a un equilibrio con la magnética. Como la primera se conocía, se podía obtener la segunda, que resultó igual a tres millonésimas de gauss, un valor muy próximo al que se ha medido en nuestra Galaxia.

A la derecha, modelo típico de un grano de polvo interestelar. Un centro metálico (hierro o silicato) forma el núcleo inicial. A su alrededor hay una capa bastante gruesa de H_2O y otras moléculas (hielo sucio); finalmente, una fina capa de hidrógeno y otros átomos.

Abajo, polarización de una onda. Supongamos que hacemos oscilar una cuerda. Si la onda atraviesa una rendija vertical, se propagarán sólo las componentes verticales. Si colocamos otra pantalla con una rendija perpendicular a la primera, las vibraciones se extinguirán del todo.



Aunque el campo magnético galáctico es débil (aproximadamente una millonésima del campo magnético terrestre), se distribuye sobre un enorme volumen de espacio, lo que hace de él una reserva considerable de energía en nuestra Galaxia.

EL FENÓMENO DE LA POLARIZACIÓN

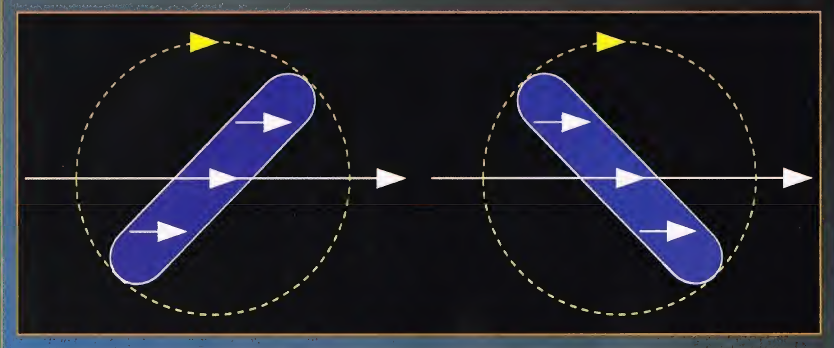
En el mismo año en que Fermi elaboraba su hipótesis, dos astrónomos estadounidenses, W.A. Hiltner y J.E. Hall, observaron independientemente que la luz de las estrellas muy lejanas parece polarizada, y que el grado de polarización aumenta con la distancia.

Pero ¿qué es la luz polarizada? Es frecuente describir la luz como un fenómeno ondulatorio. Las ondas luminosas o, en general, las ondas electromagnéticas emitidas por una fuente natural, no se encuentran en un plano determinado, sino



RELACIÓN PARAMAGNÉTICA

El diagrama siguiente explica el motivo que impide la rotación de un gránulo de polvo hacia un eje perpendicular al campo magnético. Si el gránulo tiene propiedades magnéticas, el campo magnético exterior (flecha larga) producirá una alineación de los dipolos magnéticos, paralelamente al campo, en el interior del gránulo (flechas cortas). A causa de la rotación del gránulo, la magnetización interna cambia continuamente de dirección, con la consiguiente pérdida de energía rotacional. No hay efecto alguno en un gránulo que gira alrededor de un eje paralelo al campo magnético.



El diagrama siguiente ilustra cómo se polariza la luz sobre un plano paralelo al campo magnético, por medio de la extinción selectiva, en su paso a través de una nube de polvo interestelar con gránulos alineados. Al principio, la luz no polarizada tiene componentes tanto horizontales como verticales del campo eléctrico oscilante (onda verde). La componente vertical es absorbida y produce corrientes disipadoras (flechas rojas) en los granos de polvo, dejando pasar sólo la componente horizontal. Por esto, la onda emergente está polarizada, con su vector eléctrico paralelo al campo magnético (flecha larga).



Dibujo esquemático de la luz no polarizada o natural (a la izquierda), la luz parcialmente polarizada (en el centro) y la luz completamente polarizada (a la derecha).

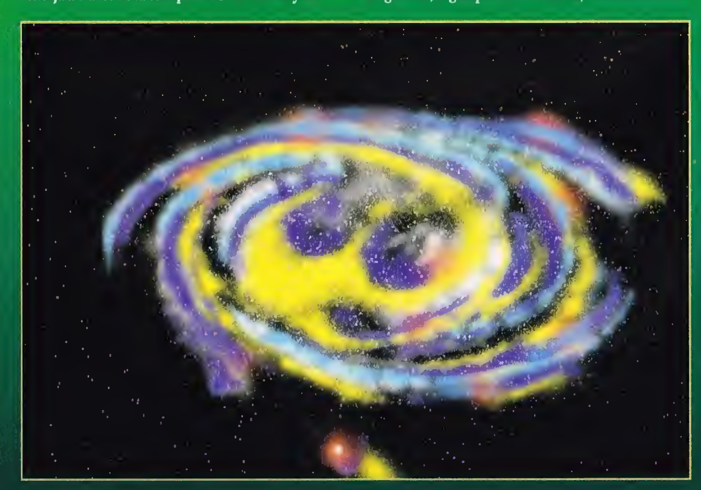
sobre todos los infinitos planos que contienen la fuente (supuesta puntiforme). Intentemos construir un ejemplo por analogía: tomemos una cuerda por un extremo, fijémosla de alguna manera en el otro extremo y hagámosla girar: a lo largo de la cuerda se propaga una onda. Si se produce la oscilación –por ejemplo, en sentido rigurosamente vertical–, la onda se propaga en un plano vertical. En cambio, si la hacemos oscilar en direcciones aleatorias, el fenómeno ondulante se producirá, en instantes sucesivos, en planos siempre diferentes. En el primer caso, se habla de onda polarizada.

Supongamos que entre el extremo móvil de la cuerda y el fijo interponemos una pantalla con una rendija a través de la cual pasamos la cuerda y la hacemos oscilar en direcciones aleatorias. La rendija sólo dejará pasar la parte de oscilaciones que tienen lugar en el sentido de su longitud.

La oscilación, no polarizada antes de la rendija, resulta polarizada después de ésta. En tal caso, la rendija actúa como un polarizador. Si ahora colocamos una segunda pantalla con la rendija paralela a la de la primera, el resultado permanece invariable. En cambio, si la segunda pantalla se coloca con la rendija a 90° de la primera y alineada con ella, obtenemos un bloqueo de la oscilación.

Este discurso es válido también en el caso de la radiación electromagnética.

Una radiación u onda electromagnética vibra, en general, según planos aleatorios, continuamente



El dibujo de la izquierda ilustra la magnatosfara galáctica. El centro de la Galaxia contiene un campo magnético bipolar, con una astructura similar a una lámina enrollada a su alrededor.



El centro de la Galaxia contiene el campo bipolar representado en la imagen de la izquierda. Los campos magnéticos principales se extienden hasta dentro de los brazos de la galaxia espiral, enrollándose alrededor de ella como dos enormes túneles. Pueden entreverse pequeños campos magnéticos en el interior de cada una de las formaciones en túnel.

variables. En cambio, si está polarizada, vibra según un plano bien definido.

Por consiguiente, son casi obvios los conceptos de radiación parcialmente polarizada y grado de polarización de la radiación. Supongamos ahora que estamos contemplando una fuente de luz a través de un filtro polarizador (por ejemplo, el llamado polaroid). Si la fuente está polarizada, habrá una posición del filtro que cortará más la radiación y otra que la cortará menos.

POLARIZACIÓN Y CAMPO MAGNÉTICO INTERESTELAR

En general, las estrellas emiten luz no polarizada, ya que ésta es la suma de las emisiones de una infinidad de átomos, cada uno de los cuales emite en un plano determinado. Sólo si existe una causa capaz de obligar a todos los átomos, o a buena parte de ellos, a emitir en un mismo plano, se tendrá luz polarizada. Esta causa puede ser el campo magnético estelar.

Las observaciones de Hiltner y Hall indicaban que la polarización aumentaba con la distancia, lo que les sugirió que la causa de la polarización debía hallarse en el medio interpuesto entre la Tierra y las estrellas.

Si en este medio hay partículas sólidas minúsculas (el polvo interestelar) de forma oblonga, un campo magnético puede alinearlas todas en la misma dirección, de manera que absorberán más la luz a lo largo de su eje mayor que de su eje menor, lo que dará lugar a la polarización. Este mecanismo de alineamiento suele llamarse relación paramagnética.

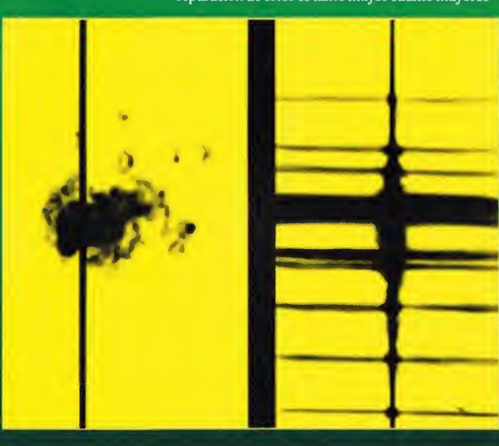
A escala galáctica, por tanto, la polarización de la luz procedente de las estrellas, que atraviesa nubes de polvo, puede utilizarse como trazador del campo magnético galáctico.

Observaciones hechas en vastas regiones de la Vía Láctea revelan que la dirección de la polarización es, en general, paralela al plano galáctico. Por tanto, el campo magnético presenta cierta uniformidad y tiene una geometría circular, similar a la que se ha deducido en las proximidades del Sol.

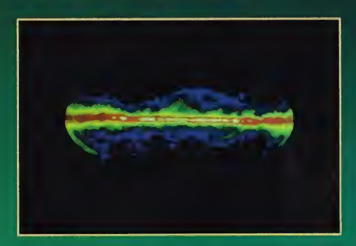
EL EFECTO ZEEMAN

Si la polarización de la luz estelar fue el primer indicio de la presencia de un campo magnético galáctico, más tarde, gracias a los progresos de la radioastronomía, pudo medirse con precisión su distribución y su valor. El método más directo consiste en la medición del efecto Zeeman.

El físico holandés P. Zeeman descubrió en 1896 que cuando una fuente de luz emite su propia radiación en un campo magnético, las rayas de su espectro se escinden en varios componentes, y la separación de éstos es tanto mayor cuanto mayores



A la derecha, efecto Zeeman en una mancha solar. La posición de la hendidura del espectroscopio aparece como una línea negra vertical a la derecha. La banda vertical a la izquierda de la fotografía es una raya solar de absorción, ensanchada en su parte central por el campo magnético de la mancha.



A la izquierda, distribución del gas hidrógeno neutro en la Galaxia, medido mediante observaciones radio a 21 cm. Las cantidades relativas (densidad de columna) de hidrógeno neutro se muestran en falsos colores, en negro y azul oscuro en las regiones que tienen menores concentraciones, y en rojo en aquellas que las tienen mayores. Tal como muestra la imagen, el hidrógeno neutro está muy concentrado en el plano galáctico. El gas que corresponde a las altas latitudes presenta una estructura filamentosa que se eleva a baja velocidad (aproximadamente menos de 200 pc del Sol), siguiendo el campo magnético local.

son el campo magnético y la longitud de onda de la radiación.

En los espectros ópticos del Sol y de algunas estrellas, donde el campo magnético tiene valores de varios millares de gauss, el efecto Zeeman es fácilmente observable.

Pero con campos tan débiles como los interestelares, era impensable observar este efecto en las líneas producidas por el gas interestelar. Sin embargo, en 1951 se apreció la primera raya interestelar en el espectro radio: la de 21 cm del hidrógeno neutro, con una longitud de onda doscientas mil veces mayor que las ópticas e infrarrojas. Fue entonces cuando se empezó a tratar de medir el efecto Zeeman.

El hidrógeno neutro es el principal componente del medio interestelar, y la raya de los 21 cm constituye un importante medio para hallar su distribución, su densidad y su velocidad, tanto en nuestra Galaxia como en otros millares de galaxias.

Hay una probabilidad extremadamente baja de poder verificar el pequeño cambio de energía en el átomo de hidrógeno, causante de la emisión en 21 cm. Un átomo cualquiera de hidrógeno, excitado al nivel de energía más alto, tarda normalmente 12 millones de años en efectuar espontáneamente el salto de energía. De todos modos, se ha observado que la radiación proviene del hidrógeno interestelar y que se debe a la enorme cantidad de átomos que contiene y a las colisiones que provocan las transiciones.

Ya hacia finales de los años setenta, las medidas del efecto Zeeman sobre esta raya se efectuaron en casi todas las direcciones del plano galáctico. El campo magnético hallado tenía valores de algunas cienmilésimas de gauss, aproximadamente diez veces el valor previsto por Fermi.

EL EFECTO FARADAY

Otro método de medida del campo magnético galáctico es el que utiliza las fuentes radio, como los remanentes de supernovas, cuya radiación está polarizada. La radiación polarizada que atraviesa un medio ionizado en el que hay un campo magnético sufre el llamado efecto Faraday. Este efecto consiste en una rotación del plano de polarización de un ángulo dado por λ^2nBL, donde λ es la longitud de onda de la radiación, y n y B los valores medios de la densidad de electrones y del campo magnético a lo largo del camino L, entre la fuente y el observador.

EL HIDRÓGENO NEUTRO

El hidrógeno gaseoso neutro o no ionizado (HI) es una parte importante del medio interestelar, del que quizá constituya la mitad de la masa, aunque su densidad –por término medio igual a 50 átomos por centímetro cúbico– es muy baja.
La temperatura del hidrógeno neutro varía de 25 a 250 K (de –248 a –23 °C), demasiado baja para que pueda emitir radiaciones visibles. De todos modos, su emisión radio a la longitud de onda de 21 cm ha permitido trazar el mapa del hidrógeno neutro en nuestra Galaxia y en otras cercanas.

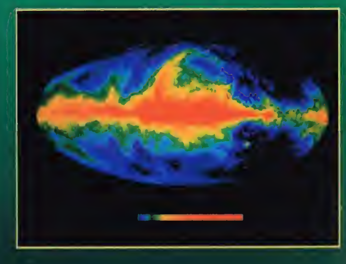
Midiendo el plano de polarización a diversas longitudes de onda, y suponiendo que se conocen la distancia L y la densidad media de electrones, puede obtenerse B.

Luego, si la fuente radio utilizada es un púlsar, no es necesario formular hipótesis sobre n y L, ya que puede medirse el tiempo de llegada de los impulsos radio a diversas frecuencias. Como el medio interestelar no es perfectamente vacío, la velocidad de propagación de los impulsos radio varía con la frecuencia de la radiación. Precisamente, la dispersión en el tiempo de llegada depende del producto nL, que así es determinado directamente. El valor del campo magnético galáctico obtenido con las observaciones de púlsares es de varias millonésimas de gauss, de acuerdo con las previsiones de Fermi.

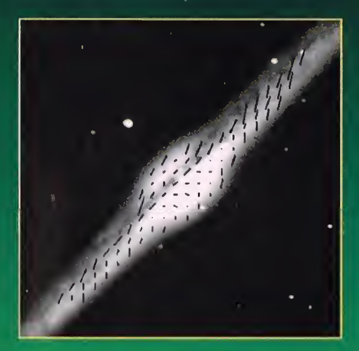
¿POR QUÉ HAY DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES OBTENIDOS?

La diferencia entre los valores derivados del efecto Zeeman en la raya a 21 cm del hidrógeno neutro y por el efecto Faraday sobre los púlsares puede explicarse teniendo presente que el campo dado por las observaciones de púlsares es un valor medio en distancias de varios miles de años luz. Si a lo largo del camino el campo adquiere tanto valores positivos como valores negativos, el valor medio es más bajo.

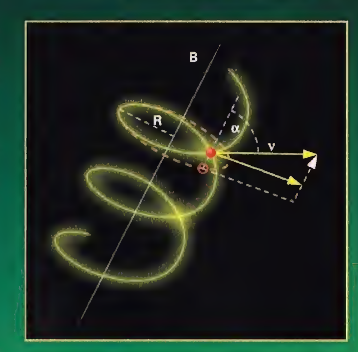
En cambio, el que se obtiene con la raya a 21 cm corresponde a nubes bastante densas y de dimensiones que van desde varios años luz hasta varias decenas. En un volumen relativamente



A la derecha, el firmamento a 408 MHz (longitud de onda 73 cm) en falsos colores. La emisión se debe a electrones que se mueven a velocidades próximas a la de la luz. El mapa pone de manifiesto sobre todo las estructuras del campo magnético a gran escala presentes en la Galaxia. Las intensidades radio se representan a escala lineal con valores que van del azul intenso (las más bajas) al rojo (las más altas). La resolución angular es de unos 2 grados.



El mapa de la polarización de la galaxia NGC 4565 indica el campo magnético en el plano del disco. Este campo se extiende con cierta coherencia a lo largo de la franja ecuatorial de polvo, hasta una distancia de más del doble de la protuberancia, a ambos lados del núcleo. El alineamiento es muy consistente en el lado noreste, donde la estructura de la franja de polvo está más ordenada que en el suroeste.



Arriba a la derecha, movimiento de un electrón en un campo magnético. La trayectoria del electrón es helicoidal; el semieje es paralelo a las líneas de campo. Como el movimiento del electrón en el campo está acelerado, emite ondas electromagnéticas.

pequeño y más homogéneo, el campo tendrá más o menos el mismo valor y el mismo signo.

EMISIÓN SINCROTRÓN POR LA GALAXIA

Otras informaciones sobre la intensidad de los campos magnéticos galácticos provienen del estudio de la radiación sincrotrón debida a la pérdida de energía sufrida por electrones muy veloces en movimiento en un campo magnético.

La emisión de ondas electromagnéticas por efecto de electrones a velocidades relativistas la observaron por primera vez, después de la Segunda Guerra Mundial, físicos estadounidenses. Utilizando un acelerador de partículas (el sincrotrón) para acelerar, con la ayuda de un campo magnético, electrones de alta energía, constataron la emisión de una radiación intensa fuertemente polarizada, en una banda de frecuencias muy amplia.

¿Cuál es el mecanismo de esta emisión? En teoría, un electrón situado en un campo magnético está sujeto a una fuerza que lo desvía de su trayectoria inicial y lo acelera. Esta fuerza confiere al electrón una energía que es liberada en forma de radiación electromagnética. Los cálculos demuestran que, en el caso de electrones cuya velocidad es próxima a la de la luz, se tiene una emisión de espectro continuo en la banda de las ondas radio. La emisión resulta polarizada, puesto que las componentes del campo eléctrico de las radiaciones están alineadas sobre una superficie perpendicular a las líneas de campo magnético alrededor de las cuales los electrones se mueven en espiral.

CAMPOS MAGNÉTICOS EN LAS OTRAS GALAXIAS

En las galaxias espirales normales, la mayor parte del polvo interestelar está confinado en un estrato aplanado en forma de disco. Si la galaxia se ve de canto, el estrato de polvo próximo aparece como una franja oscura que absorbe y difunde la luz de las estrellas que hay detrás de ella.

Podrán entonces detectarse los campos magnéticos ordenados a gran escala, ya que, como hemos visto anteriormente, alinearán los gránulos de polvo, y la luz que transmiten será luz polarizada.

En el caso de las radiogalaxias, que constituyen una millonésima parte de las galaxias observables, la emisión radio es una radiación sincrotrónica, que, como hemos visto, proviene de los electrones en movimiento a velocidades relativistas y a lo largo de las líneas del campo magnético galáctico.

De este modo, observando en la banda radio, es posible hacer un mapa de la distribución de los campos magnéticos en estos objetos. Por ejemplo, M87, la galaxia elíptica gigante situada en el centro del cúmulo de Virgo, emite un flujo de naturaleza sincrotrónica, generado en un campo magnético muy intenso.



Imagen óptica (a la izquierda) y radio (a la derecha) de M87. Esta galaxia gigante, de forma casi esférica, alberga más de un billón de estrellas. Su luminosidad es unas mil veces la de nuestra Galaxia. Las imágenes muestran un chorro en un lado de M87, con una extensión de unos 6.000 años luz (unos 2 kpc) desde el núcleo, que acaba en un lóbulo de débil y difusa emisión radio.



LA FLECHA

La Flecha se encuentra en una zona próxima al plano ecuatorial galáctico, donde es fácil percibir una gran cantidad de pequeñas estrellas.



Aunque no es una de las constelaciones más vistosas del hemisferio boreal, la Flecha pertenece a la muy restringida categoría de constelaciones que hacen honor a su nombre. Sus estrellas dibujan sobre la bóveda celeste un minúsculo dardo lanzado a través de la Vía Láctea.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Esta pequeña constelación se encuentra dentro del perímetro del «triángulo estival», el gran polígono formado durante la bella estación por Deneb en el Cisne, Vega en la Lira, y Altair en el Águila.

Para identificar con precisión la Flecha, basta mirar a una decena de grados al norte de Altair: casi paralela a la base del triángulo estival veremos apuntar la flecha celeste.

Alternativamente, podemos partir de la cercana constelación del Delfín y movernos hasta unos 10° al noroeste para hallar las estrellas, relativamente poco brillantes, de la Flecha.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LA FLECHA

Hay varias leyendas sobre esta pequeña constelación de origen remoto.

La más interesante es probablemente la que ve en la Flecha el dardo disparado por Hércules para liberar a Prometeo del águila que le devoraba el hígado.

Prometeo es el héroe famoso que osó robar el fuego a Júpiter para darlo a los hombres. Por esta acción, Júpiter lo castigó, encadenándolo al Cáucaso, donde un águila le roía el hígado durante el día. Por la noche, el hígado volvía a crecer, de modo que el suplicio podía durar eternamente. Pero Hércules decidió poner fin a esta tortura y mató al águila con una flecha.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Las estrellas Alfa y Beta de esta constelación no son las más brillantes, ya que las superan en luminosidad tanto Gamma como Delta.

Alfa, conocida con el nombre de Sham, y Beta brillan con la misma magnitud, igual a 4,4. También su distancia es similar, lo



M71 es el único objeto del catálogo de Messier contenido en la Flecha. Se trata de un cúmulo globular que en el pasado se consideró un cúmulo abierto muy rico.

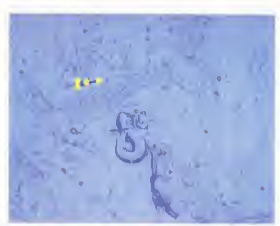
mismo que sus tipos espectrales, próximos al solar. Se encuentran, respectivamente, a 610 y 640 años luz de la Tierra y, al igual que nuestra estrella, su luz es amarilla.

Gamma (magnitud 3,5) es el astro más brillante de la Flecha, y dista de nosotros poco menos de 200 años luz. Su luz es anaranjada.

En cambio, Delta (magnitud 3,8) es una estrella gigante roja que varía muy ligeramente su luminosidad: sólo ocho centésimas de magnitud.

Más interesante como variable es la estrella U, que oscila entre las magnitudes 6,5 y 9,3 en poco más de tres días y nueve horas. Esta estrella forma parte del grupo de variables eclipsantes: dos astros se ocultan periódica y alternativamente, reduciendo la luminosidad total del sistema. La variación de magnitud es tal que permite seguir este astro sólo con la ayuda de unos buenos prismáticos.

Todavía más especial es WZ, que en el pasado saltó de la magnitud 15, con la que



La constelación de la Flecha figura entre las constelaciones introducidas en la antigüedad más remota, y ya era conocida por los griegos.

brilla habitualmente, hasta la 7. Como el fenómeno se registró tres veces –en 1913, 1946 y 1978–, se piensa que puede tratarse de una nova recurrente en la que los intercambios de materia entre dos astros que orbitan uno respecto a otro provocarían explosiones periódicas.

OTROS OBJETOS DE LA FLECHA

Dentro de los límites de la constelación de la Flecha se encuentra uno de los objetos de Messier: el cúmulo globular M71.

La distancia hasta este objeto –sobre cuya naturaleza se ha discutido y que para algunos es un cúmulo abierto especialmente rico en estrellas– es igual a 18.000 años luz. Se nos aparece como una mancha luminosa desenfocada de octava magnitud, perceptible con unos prismáticos corrientes. Las dimensiones aparentes de M71 equivalen a la quinta parte del diámetro de la Luna llena. La medida de sus dimensiones reales sugiere, en cambio, que tiene un diámetro de 30 a.l. aproximadamente. Así pues, es fácilmente resoluble, y sus estrellas están tan dispersas que durante mucho tiempo fue considerado un cúmulo abierto.

DÓNDE BUSCARLA

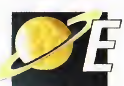
LA FLECHA

La constelación de la Flecha es visible durante el verano y pasa por el meridiano a medianoche hacia mediados de julio. En este período, es fácilmente observable desde latitudes medias: se encuentra a unos 60° por encima del horizonte. Abarca una región del cielo comprendida entre las 18 horas 55 minutos y las 20 horas 20 minutos de ascensión recta, y entre 16 y 21° de declinación, aproximadamente.


10°
20°
SAGITTA
U
AQUILA
VULPECULA
Alfa
Beta
Delta
M71
Gamma
20 h
WZ
Eta
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LAS MISIONES PHOBOS HACIA FOBOS

Phobos 1 y Phobos 2 fueron dos sondas interplanetarias soviéticas proyectadas y lanzadas al espacio para estudiar uno de los objetos más extraños del sistema solar: Fobos, uno de los dos satélites que tiene Marte. Ambas sondas debían haber efectuado una serie de complejos experimentos. Sin embargo, las dos se perdieron en el espacio, aunque, en conjunto, la misión no puede calificarse de fracaso total.



En julio de 1988, cohetes Proton lanzaron, desde la base espacial de Baikonur, dos sondas interplanetarias automáticas: Phobos 1 y Phobos 2.

El programa, en cuya elaboración participaron científicos de 14 países y la Agencia Espacial Europea, se proponía ante todo efectuar investigaciones sobre un objeto perteneciente a una clase muy amplia, y hasta ahora poco conocida, de pequeños cuerpos del sistema solar: Fobos, uno de los dos satélites de Marte.

UN INICIO INCIERTO

En el momento del lanzamiento de las dos sondas, todavía no estaba claro –tampoco lo está ahora– si Fobos y Deimos, el otro satélite natural marciano, habían sido capturados por el campo gravitatorio de Marte o nacieron durante o inmediatamente después de originarse el planeta.

Una respuesta a este enigma sería de gran ayuda para comprender la evolución de todo el sistema solar. En opinión de los especialistas, el programa de investigación que se estaba elaborando era uno de los más complejos y con más aparatos científicos de todos los que se habían proyectado hasta entonces.

Sin embargo, durante el trayecto de la Tierra a Marte se perdió el contacto radio con una de las cápsulas, la Phobos 1. Esto ocurrió el día 1 de septiembre de 1988. En el código cifrado del sistema de mando instalado a bordo, no se había introducido una información. Esto bastó para que una orden procedente de la Tierra fuera interpretada de manera errónea por el sistema de orientación. Durante algún tiempo se tuvo la esperanza de que, girando libremente por el espacio, la sonda dirigiese sus baterías hacia el Sol y pudieran recargarse; pero no fue así, y después de casi



A la derecha, la sonda Phobos. En 1988 se enviaron dos sondas simultáneamente a Fobos, uno de los satélites naturales de Marte. Parecidas, pero no idénticas, ambas sondas llevaban a bordo algunos instrumentos diferentes, que, una vez en órbita de Marte, debían cumplir su misión. Pero Phobos 1 se perdió en su viaje al planeta rojo, quizá por un defecto del software del ordenador de a bordo, mientras que Phobos 2 dejó de enviar datos a la Tierra cuando se encontraba orbitando Fobos, justamente mientras realizaba los experimentos más importantes.



A la izquierda, una de las sondas Phobos durante la preparación para su lanzamiento, efectuado en julio de 1988.



A la derecha, una imagen del satélite de Marte Fobos, tomada por la sonda Viking 1. Arriba a la derecha se ve el enorme cráter Stickney.

TEREK
IPHR
ESTER
RF-15
VGS
LILAS
ASPERA
GS-14
KRFM-ISM
LIMA-D
AEGF-F

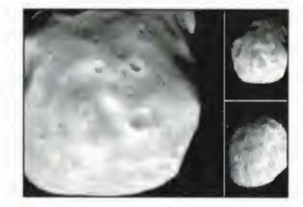
Esquema de la sonda Phobos. En realidad, las dos sondas, Phobos 1 y 2, no eran idénticas, y la pérdida inmediata de una de ellas comprometió en parte la misión.

un mes de inútiles tentativas para restablecer los contactos, los técnicos del control de las cápsulas interplanetarias debieron renunciar.

Como la Phobos 1 y la Phobos 2 no estaban dotadas con los mismos aparatos científicos, la pérdida de una de ellas hizo que el programa quedara parcialmente comprometido. Por ejemplo, no se llevaron a cabo las dos investigaciones iniciadas en la fase de crucero sobre la emisión de rayos X del Sol.

Igualmente, ciertos experimentos que debían hacerse sobre la superficie del satélite de Marte ya no fueron posibles. Entre otras cosas, debía medirse el contenido de agua cristalizada en la capa superficial del suelo.

Además, había que considerar totalmente perdida la posibilidad del radiosondeo ionosférico de Marte, que se proponía examinar la distribución en las cotas altas de la densidad electrónica, descubrir la interacción de la ionosfera externa con el viento solar, y definir la función del eventual campo magnético de Marte en esta interacción.



Fobos, el mayor de los dos satélites de Marte (a la izquierda), tiene una superficie cuajada de cráteres con diámetros de varios kilómetros. El bombardeo de meteoritos ha creado un suelo denominado «regolito», que podría alcanzar un espesor de unos 100 m. El satélite, de forma elíptica, tiene unas dimensiones de 27, 21 y 19 km.

LA APROXIMACIÓN

Doscientos días después del lanzamiento, el 29 de enero, la Phobos 2 entraba en una órbita elíptica muy alargada.

Esta órbita estaba dispuesta en el plano del ecuador de Marte, con los puntos extremos que distaban de la superficie del planeta 850 y 79.750 km. Desde esta órbita, la cápsula efectuó una serie de investigaciones de la superficie y de la atmósfera de Marte, así como del espacio circumplanetario.

Una orden de la Tierra modificó después la trayectoria del vuelo, primero elíptica, con una distancia mínima de la superficie de 6.400 km, y luego circular, 350 km por encima de la órbita del satélite natural Fobos (la llamada órbita de observación).

Así ha imaginado un artista el suelo de Fobos visto desde la sonda homónima, que intenta tomar datos.



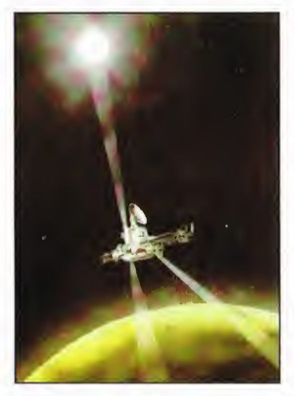


Imagen artística de una de las sondas Phobos en órbita alrededor del planeta Marte. Al fondo puede verse el Sol.

Las informaciones, muy escasas, que se tenían de Fobos y de las particularidades de su movimiento en torno al planeta, habían aconsejado la elección de la citada órbita. Hasta aquel momento, los datos de que disponían los técnicos soviéticos procedían solamente de observaciones hechas desde la Tierra durante los breves períodos de visibilidad, o bien de informaciones enviadas por las sondas estadounidenses Mariner 9 y Viking 1.

Moviéndose en esta órbita, la cápsula funcionó durante tres días tomando datos de Marte, de su atmósfera y del espacio circumplanetario. Luego, cuando se hallaba a una distancia de Fobos de entre 860 y 1.130 km, cumplió la primera parte de las tomas televisivas del satélite.

La sonda, siguiendo indicaciones del sistema de mando de a bordo, programado con anterioridad, llevó a cabo una serie de correcciones de órbita, necesarias para apuntar hacia el satélite de Marte. Las imágenes de Fobos se fijaron en nuevos encuadres televisivos, y las informaciones obtenidas durante las tomas se utilizaron para precisar los parámetros del movimiento de Fobos y de la misma sonda, con objeto de asegurar su posterior aproximación.

Cuando la distancia a Fobos se redujo a 320-440 km, comenzó la segunda parte de las tomas televisivas, utilizadas tanto para corregir nuevamente la trayectoria de la cápsula como para el estudio de la forma y las particularidades del relieve del satélite.

Una vez precisados los parámetros de la órbita de Fobos, el 21 de marzo de 1989 la cápsula pasó a una órbita casi síncrona con el movimiento del satélite de Marte.

Esto significaba que el Phobos artificial y su homónimo natural se movían alrededor del planeta prácticamente a la misma velocidad. Además, bajo la influencia de la fuerza de gravedad del satélite de Marte, la sonda espacial efectuó movimientos oscilatorios y, de hecho, libraba en torno a Fobos mientras llegaba unas veces a la distancia de 400 km y otras veces a la de 200 km.

LOS EXPERIMENTOS

La siguiente operación que debía efectuar la sonda era aproximarse todavía más a Fobos, a unos 35 km de su superficie, en la parte opuesta a Marte.

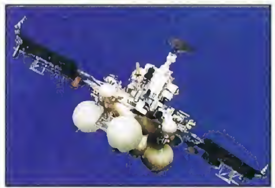
Una vez hecha esta corrección, la cápsula, utilizando únicamente los datos proporcionados por los instrumentos de a bordo y la capacidad de su inteligencia artificial, debería añadir un elemento de absoluta novedad en el vuelo espacial: seguir de cerca el cuerpo celeste y llevar a cabo experimentos muy complejos sobre su superficie. Suspendida a una altura de 50 m por encima del satélite marciano, la Phobos 2 debería haberse movido durante mucho tiempo junto a él, efectuando innumerables mediciones, entre ellas una serie de investigaciones sobre la superficie, irradiando las zonas que había que explorar con fuentes de energía muy potentes, como láser, haces de iones y rayos X, con las que habría vaporizado y ionizado la materia de la capa superficial. El material ionizado, proyectado hacia arriba, hubiera podido ser captado y analizado por los instrumentos de a bordo.

Hay que observar que las maniobras (la deriva, mediante el equipo motor), aun hechas a una velocidad muy baja, son difíciles de realizar en las condiciones que se dan en Fobos. Este cuerpo celeste está cubierto por una infinidad de cráteres y de grietas profundas.

En estos casos, el vuelo rasante sólo es posible cuando el cerebro electrónico de la sonda posee un nivel de inteligencia muy elevado, ya que debe evaluar por sí mismo la situación y tomar rápidamente la decisión correcta. Se le confían, sobre todo, las funciones del sistema de estabilización, que permite a la sonda interplanetaria mantener el sentido de orientación en el espacio. Al final del trecho recorrido en vuelo rasante, habrían descendido los módulos de aterrizaje, el permanente y el móvil.



A la derecha, cuatro imágenes en falsos colores de Fobos, tomadas por la sonda soviética del mismo nombre. Los diferentes colores parecen indicar que el interior está formado por un aglomerado de materiales.



Las sondas Phobos cumplieron sólo una parte de su misión, que, a pesar de todo, es la única realizada en los satélites de Marte.



El satélite natural de Marte, Fobos –objeto, al menos en intención, de un estudio profundo por parte de la sonda soviética Phobos–, gira alrededor de Marte en unas 7 horas a 6.000 km de altura. Con estos parámetros orbitales, Fobos sale y se pone en el firmamento marciano tres veces al día, pero, lo mismo que nuestra Luna respecto a la Tierra, siempre muestra a Marte la misma cara. Fobos fue descubierto por Asaph Hall en 1877, el mismo año en que Giovanni Schiaparelli creyó ver en la superficie de Marte los famosos canales.

Desafortunadamente, todo esto no fue posible porque, hacia finales de marzo, también la Phobos 2 dejó de responder a las órdenes enviadas desde la Tierra. Las causas que dejaron a la sonda fuera de servicio fueron quizá una interferencia en los contactos radio, una anomalía en el ordenador de a bordo o el impacto con un micrometeorito.

Es evidente que la suerte no acompaña a los rusos en sus exploraciones de Marte. Aparte de los fallos de las sondas Phobos, hay que mencionar también el fracaso de la Mars 96, lanzada a finales de 1996 y que cayó en el océano Pacífico durante las fases iniciales del viaje.

Sin embargo, según Roald Sagdeev, personalidad de primera magnitud en la política espacial de la antigua Unión Soviética, los fallos de las dos Phobos hay que achacarlos a la lentitud burocrática, a la falta de decisión en las esferas políticas y a la escasa eficiencia de los sectores industriales encargados de la construcción de las diversas partes de las cápsulas. En opinión de Sagdeev, una planificación lenta y continuamente aplazada no permitió la definición exacta de los detalles, con los consiguientes resultados catastróficos.

RESULTADOS CONCRETOS

Sin embargo, hay que decir que muchos de los instrumentos científicos instalados a bordo de la sonda espacial nunca permanecieron inactivos, ni durante el vuelo orbital alrededor de Marte ni en los 200 días de viaje hacia el planeta rojo.



Con el experimento francosoviético APEKS, gracias al cual se obtuvo una resolución temporal muy elevada para la astronomía gamma moderna, se consiguieron resultados interesantes en el estudio de los destellos gamma y de la radiación X de alta energía de las erupciones solares.

Se registraron más de 50 γ-ray bursts cósmicos y fuertes erupciones solares. Además, se obtuvieron pruebas indirectas de la presencia, en la débil magnetosfera de Marte, de franjas de radiaciones y, por primera vez en el espacio que rodea Marte, se midieron ondas de plasma.

Más tarde se tuvieron los primeros datos sobre el contenido de los principales elementos radiactivos en las rocas superficiales de Marte. La base del experimento era la medición de las radiaciones gamma del regolito del planeta. Esta radiación se origina en la interacción de los rayos cósmicos galácticos con los núcleos de la materia que constituye la capa superficial, así como con los elementos radiactivos naturales que la componen.

Se hicieron más de una vez mediciones radiométricas (térmicas) y análisis espectrales de la superficie de Marte, mediciones que también incluyeron la zona ecuatorial. A pesar de que en aquellos momentos en el planeta era primavera, las temperaturas diurnas más elevadas no superaban los 20 °C.

Si no hubiese dejado de funcionar, la Phobos 2 debería haber estudiado la composición del satélite enviándole un haz láser.

Precisamente en el ecuador se halla uno de los mayores volcanes de Marte: el Monte Pavonis, con una altura de más de 20 km. La atención de los científicos se centró muy pronto en el flujo inusitado de calor procedente de este volcán, detectado por el radiómetro de la Phobos 2. La temperatura en las laderas de la montaña era 25 °C superior a la del suelo circundante; además, la cima era mucho más caliente. Es posible que la temperatura más elevada fuera debida al material oscuro que recubre las vertientes y que absorbe el calor del Sol, calentándolas, o bien a la existencia de magma en su interior. Las próximas misiones estadounidenses sabrán dar una respuesta a esta duda. Sin embargo, para la Agencia Espacial Europea, el balance de la misión no fue totalmente negativo.

EL COLUMBUS ORBITAL FACILITY

En el programa de la construcción de la Estación Espacial Internacional denominada Alpha, un módulo importante y de estructura imponente será el COF (Columbus Orbital Facility). En su interior se instalarán «armarios» que contendrán los instrumentos destinados a importantes experimentos de microgravedad.



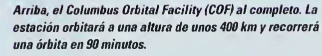
En la puesta a punto de la Estación Espacial Internacional Alpha (ISSA), Italia ha sido designada para construir una parte importante de tan enorme estructura: el módulo COF (Columbus Orbital Facility), un laboratorio habitable, multifuncional, para investigaciones en el campo de la ciencia de los materiales, la física de los fluidos, las ciencias de la vida, las ciencias espaciales y la tecnología. Permanecerá unido unos quince años a la Estación Espacial Internacional Alpha, de la que recibirá los recursos necesarios para su vida operativa.

ESTRUCTURA DEL MÓDULO

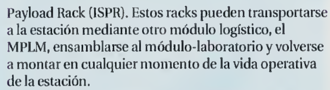
El módulo está formado por un compartimiento presurizado que permite crear un ambiente con una atmósfera absolutamente igual a la terrestre y con una gravedad variable de 10^{-3} a 10^{-6} g.

Se ha pensado construir dentro del módulo «armarios» modulares estandarizados e intercambiables para alojamiento de aparatos científicos y técnicos, llamados International Standard





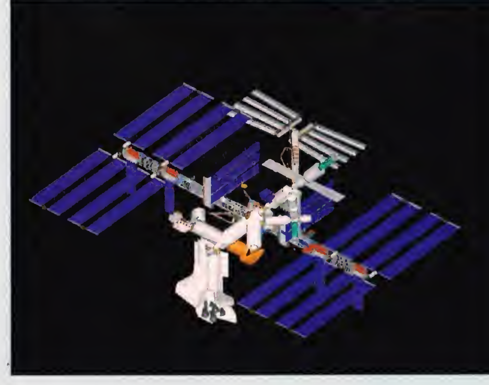
Arriba, el Columbus Orbital Facility (COF) al completo. La estación orbitará a una altura de unos 400 km y recorrerá una órbita en 90 minutos.



Payload Rack (ISPR). Estos racks pueden transportarse a la estación mediante otro módulo logístico, el MPLM, ensamblarse al módulo-laboratorio y volverse a montar en cualquier momento de la vida operativa de la estación.

Dado que el laboratorio COF, el japonés JEM y el estadounidense adoptan el concepto de ISPR, los racks son también intercambiables entre diversos laboratorios.

El laboratorio COF puede alojar diez racks de tipo ISPR para experimentos científicos y tres para el almacenamiento de materiales destinados al mantenimiento de la tripulación y a la vida operativa de la estación.



A la izquierda, ensamblaje de los diversos módulos «laboratorio». Los diferentes componentes serán llevados hasta la órbita por lanzaderas en numerosos viajes.



Representación del aspecto de la Estación Espacial Alpha una vez completada la fase principal de su construcción. La energía necesaria para el funcionamiento de todos los sistemas de a bordo la suministrarán unos enormes paneles solares, muy visibles en el esquema. La estación tendrá una masa total de unas 400 toneladas.

Cada rack tiene un volumen de carga útil de 1,5 m^3 aproximadamente, y está en condiciones de soportar una carga útil de 400 kg.

Cuando abandone la Tierra, el módulo COF tendrá un peso total de 12 toneladas. De ellas, 2,5 estarán dedicadas a los experimentos y podrán aumentarse hasta 9 cuando la carga se efectúe totalmente en órbita.

El laboratorio COF se transportará hasta la Estación Espacial por medio del transbordador, y actualmente su primer lanzamiento está planificado para el año 2002. Cuando ya no sea capaz de prestar servicio, podrá regresar a la Tierra del mismo modo.

ESTRUCTURA DEL LABORATORIO ESPACIAL COF

La configuración del laboratorio COF es muy similar a la que se utilizó en la construcción del Spacelab, y en la práctica se presenta como un elemento cilíndrico terminado en dos troncos cónicos. El módulo está presurizado a las condiciones del ambiente terrestre.

La sección cilíndrica está formada por dos elementos, con un diámetro de 4,2 m aproximadamente. La longitud total es de unos 6,5 m (incluido el sistema de enganche a la estación) y tiene un peso aproximado en vacío de 2.870 kg.



La Estación Alpha completa (a la izquierda) medirá, en su extensión máxima, 120 m. El volumen presurizado orbital tendrá las dimensiones de dos grandes aviones tipo 747.

El COF (a la derecha) representará esencialmente la colaboración europea en la Estación Espacial. El proyecto prevé que cada participante colabore con la construcción de un módulo. Sin embargo, Estados Unidos es el país que contribuye con una financiación mayor.

Uno de los dos extremos de la sección, ambos de forma troncocónica, dispone del sistema de ensamblaje con la estación (Docking/Berthing Mechanism), del portillo que permite el acceso a y desde la estación y aísla la zona del laboratorio, especialmente durante las operaciones de vuelo. Además, hay una brida que incorpora las conexiones –eléctricas y de los materiales fluidos– con la estación espacial, de la que el módulo COF depende para los recursos fundamentales.

Toda la estructura está construida con paneles de aleación de aluminio.

Dentro del módulo hay una estructura secundaria de soporte a los experimentos y a los demás subsistemas.

Esta estructura está constituida por *stand-offs*, es decir, cuatro estructuras de soporte de las líneas fluídicas y eléctricas que permiten la distribución de los recursos, y varios racks de subsistema, es decir, pequeños armarios que contienen aparatos electrónicos y de control del ambiente del módulo, cubiertos con paneles removibles que tienen por objeto restaurar la sensación de la orientación normal arriba-abajo a la que el hombre está acostumbrado en la Tierra.

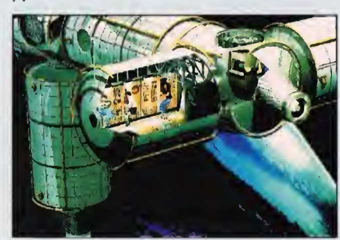
Los instrumentos para experimentos están dispuestos en el interior de otros racks, cada uno de los cuales puede contener como máximo 400 kg de instrumentos.

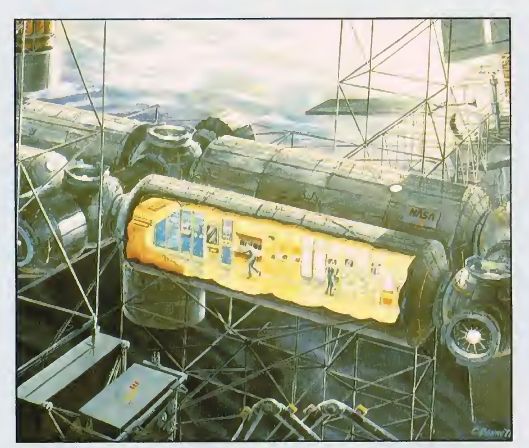
En el lanzamiento, no todas las localizaciones disponibles para los experimentos están ocupadas. Esto dependerá del límite de masa que se lance en cada vuelo.

Por consiguiente, el módulo COF no se cargará con todos los racks. Esto se hará durante el período de vida operativa del módulo.

La estructura primaria del módulo COF está recubierta con un escudo (Meteoroid and Space Debris Protection System) que la protege de posibles impactos de meteoritos y residuos procedentes de la presencia en órbita de restos de misiones espaciales anteriores.

Para ensamblar el Columbus Orbital Facility, se utilizará un brazo manipulador que tomará el módulo de la bodega del transbordador y lo llevará al atraque con la estación Alpha. La interfase que hay en el COF para el ensamblaje prevé también sistemas para los contactos eléctricos, para el aprovisionamiento de potencia eléctrica al módulo y para el intercambio de datos.





Sección del COF en la que se efectuarán experimentos científicos de varios tipos. La estructura modular de la estación permitirá su construcción por partes y, con el tiempo, la adición de otras partes que se consideren necesarias.

EL CONTROL DEL AMBIENTE INTERIOR

El control del ambiente interior del COF ha sido estudiado de modo que garantice a los astronautas las condiciones necesarias para sus actividades de larga duración, la realización de los experimentos y el control térmico de todos los aparatos. Cuando esté activo, el laboratorio Columbus mantendrá constantemente comunicación directa con la Estación Espacial; así, asegurará la estabilización de la atmósfera controlada entre los diversos elementos de la estación, en condiciones similares a las que hay en la Tierra a nivel del mar, especialmente una presión comprendida entre los 958 y los 1.013 hPa, con oxígeno a la presión parcial de 195-231 hPa. El oxígeno consumido por la tripulación, parcialmente dispersado, será reciclado continuamente. Se ha calculado que el oxígeno dispersado será del orden de 0,227 kg al día.

La temperatura a la que trabajarán los astronautas podrá regularse entre los 18 y los 27 °C, con una humedad relativa que se mantendrá entre el 25 y el 70%.

Se ha estudiado un sistema de ventilación apropiado para las necesidades de la tripulación. Esto servirá también para control de la actividad microbiológica de a bordo, para detectar el humo que eventualmente debiese ser evacuado del módulo, y para activar las alarmas y los sistemas contra incendios. Para ello, se han dispuesto algunos extintores y, como último recurso, se ha previsto la depresurización del propio módulo.

Estas condiciones permitirán a los astronautas trabajar «en mangas de camisa».

El interior de la cabina dispondrá de una zona libre para los astronautas, con una anchura y una altura de 2 m aproximadamente.

Los instrumentos destinados a garantizar estas condiciones han sido estudiados para que no perturben el ambiente interior del módulo, que habrá de disponer del máximo nivel de microgravedad para la ejecución de los experimentos.

SISTEMAS ELÉCTRICOS DE GESTIÓN DE DATOS, DE AUDIO Y DE VÍDEO

Para las necesidades operativas de los subsistemas a bordo del COF, el módulo podrá confiar en dos canales independientes que ofrecerán un total de 20 kW. La iluminación la proporcionarán 8 lámparas fluorescentes y un sistema de iluminación de emergencia que se activará automáticamente en caso de que se produzca un apagón total en el módulo.

La gestión de los datos de a bordo utiliza dos vías: una llamada «vital», y otra «nominal». La primera controla la activación de las comunicaciones y de todas las funciones del módulo, el funcionamiento del ordenador principal, el apoyo a la estación para el control de las funciones críticas de seguridad, y la concordancia con el tiempo de la estación para asegurar la sincronización de todas las operaciones.

Por su parte, la vía «nominal» tiene la misión de controlar y clasificar los datos relativos al sistema y a los experimentos, ayudar a la tripulación en la gestión del sistema y de los experimentos, almacenar y recuperar los datos correspondientes al sistema y a los experimentos, adquirir y distribuir los datos y las órdenes, gestionar las informaciones de telemetría y las órdenes enviadas desde y hacia la Tierra, y distribuir el tiempo patrón.

Un sistema audio de fibra óptica, que utilizará también auriculares «sin hilos», permitirá las comunicaciones entre la tripulación del COF y los astronautas que permanezcan en la Estación Espacial. En caso de que en el módulo se produjera alguna anomalía, se generará automáticamente una señal acústica de alarma.

En cuanto al sistema vídeo, tendrá por finalidad ayudar a la tripulación y al personal de Tierra en las operaciones de control del sistema y de los experimentos.

A la derecha, el rack, es decir, el contenedor estándar de diversos instrumentos a bordo de los módulos-laboratorio de la estación espacial, la cual podrá contener hasta 700 kg de aparatos para experimentos.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

ANILLOS Y SATÉLITES MENORES DE JÚPITER

ESTRELLAS Y GALAXIAS

IMÁGENES EN FALSOS COLORES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

SAGITARIO

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

MENSAJES AL ESPACIO

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

64



9 788439 554219 10064

$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos. Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

ANILLOS Y SATÉLITES MENORES DE JÚPITER

Son muchas las sondas que han llegado a Júpiter y muchos los conocimientos que gracias a ellas hemos adquirido. También sabemos algo acerca del tenue sistema de anillos y de las lunas más pequeñas que orbitan en torno al gigante gaseoso.



El sistema de anillos de Júpiter fue el tercero que se descubrió alrededor de un planeta del sistema solar. El primero, naturalmente, fue el de Saturno (los anillos fueron identificados en 1655) y el segundo el de Urano (1977). El menos extenso de los tres sistemas es el joviano. Muy probablemente se trata de un sistema inestable debido a la presencia de pequeños satélites vecinos. Los anillos de Júpiter están formados por pequeñísimas partículas de polvo de unos 5 mm de diámetro.

EL DESCUBRIMIENTO

Los anillos que orbitan alrededor de Júpiter se descubrieron gracias a las imágenes enviadas por la sonda Voyager 1 en marzo de 1979. Cuando en 1974 llegaron las imágenes de Júpiter captadas por la sonda Pioneer 11, la presencia de los anillos no fue advertida [illegible] sonda pasó entre los anillos [illegible] y la sombra de las partículas cargadas de los anillos.

Las informaciones suministradas por la Voyager 1 permitieron a los científicos programar la Voyager 2 de tal modo que fotografiara los anillos. Las imágenes se tomaron durante dos breves intervalos de tiempo, antes del encuentro con Júpiter e inmediatamente después. Las fotografías de la primera fase muestran los anillos bajo un ángulo muy pequeño (unos 10°), mientras que las de la segunda lo hacen bajo un ángulo de casi 180°.

En el fotomontaje de abajo se reconoce el sistema de anillos que rodea al planeta.



GENERALIDADES Y MORFOLOGÍA

Los anillos de Júpiter se encuentran en el plano ecuatorial del planeta, a una distancia de unos 55.000 km de las nubes más altas de la atmósfera, y son poco brillantes. Están formados por polvo y pequeños fragmentos, y son prácticamente invisibles porque reflejan muy poco la luz solar incidente.

El sistema de anillos posee tres componentes morfológicamente distintos. La primera consta de un anillo muy brillante, plano y circular, que luego se difunde hacia los bordes (segundo componente). La última componente es [illegible] que todas las otras dos y se extiende a lo largo de más de 10.000 km por encima y por debajo del plano del anillo brillante. Este halo parece extenderse por el interior hasta la atmósfera del planeta. Todo el sistema está delimitado exteriormente por un pequeño satélite, Adrastea.

El sistema de Júpiter (en la imagen a toda página) es uno de los más nutridos del sistema solar. Se han localizado en él 16 lunas.



UN EXTRAÑO DESCUBRIMIENTO

Los anillos de Júpiter fueron descubiertos por la sonda Voyager 1 en el transcurso de su cita de marzo de 1979 con el planeta. Otra sonda, la Pioneer 11, había llegado ya al gigante del sistema solar en 1974, pero las imágenes no habían mostrado anillos. La sonda recorrió una órbita que impidió el descubrimiento.

La componente más visible y luminosa se llama simplemente anillo brillante. Las imágenes de la Voyager 2 han permitido calcular su anchura (6.400 km) y su espesor máximo (30 km). Su interior parece poseer sólo una característica superficial definida, una parte más brillante, aunque la variación de luminosidad en toda la superficie es muy pequeña. Los límites externos del anillo luminoso son muy nítidos; los internos, en cambio, se van difuminando poco a poco.

Después de que las sondas Voyager descubrieran los anillos, se han hecho otras muchas observaciones de dichas estructuras, incluso desde la Tierra.

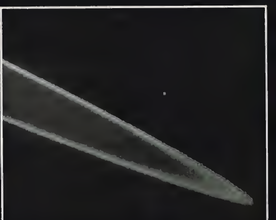
PRUEBAS DE LA EXISTENCIA DEL HALO

Hay algunos elementos de juicio en apoyo de la existencia del halo externo. La sombra del planeta sobre los anillos no define una línea recta. Si todo el material de los anillos estuviera contenido en el plano ecuatorial de Júpiter sería de esperar que la sombra del planeta cortara el mismo anillo según una recta tangente al terminador de Júpiter. Pero esto no sucede; en realidad, el borde de la sombra está curvado, lo cual sugiere la presencia

El disco a contraluz de Júpiter (a la derecha) permite observar los delgados anillos fotografiados por la sonda Voyager 2.



Arriba, un detalle interesante del sistema de anillos fotografiado por la sonda Voyager 2.





Arriba a la izquierda y a la derecha, la misma imagen de los anillos de Júpiter en blanco y negro y en color. La primera pone de manifiesto la estructura principal, de color gris oscuro, con un delgado anillo alrededor, de color gris claro. La segunda permite observar el halo que rodea el anillo.

de materia encima del plano del anillo brillante que intercepta la luz solar cerca del borde de la propia sombra.

Otra prueba consiste en la presencia de material poco brillante que parece proyectarse más allá del borde externo del anillo luminoso. No sería de esperar semejante comportamiento si todo el material estuviera en el mismo plano.

Como ya se ha indicado, el halo se extiende a lo largo de 10.000 km perpendicularmente al plano del anillo y su espesor parece aumentar hacia el planeta. Es muy difícil determinar su límite externo, pero sin duda se encuentra más allá del borde del anillo más luminoso.

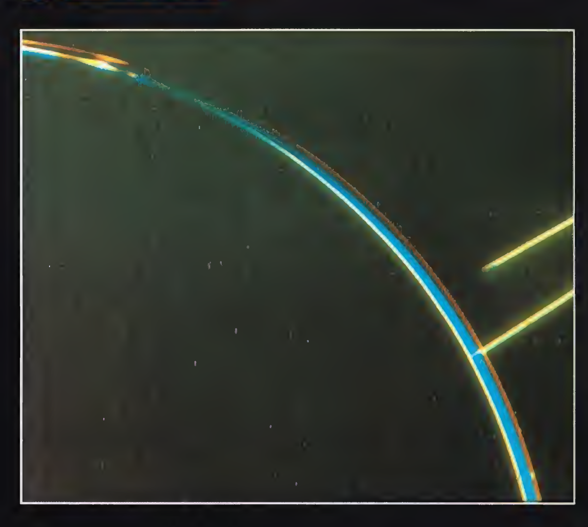
ADRASTEA, METIS Y EL MATERIAL DE LOS ANILLOS

El material de los anillos procede probablemente de los dos satélites más interiores de Júpiter, Adrastea y Metis, descubiertos en 1979 simultáneamente a los anillos. El polvo que compone los anillos deriva de un complejo proceso en el cual, además de los dos mencionados satélites, interviene Ío. La materia expulsada por el satélite durante las frecuentes erupciones de sus volcanes escapa de la atmósfera debido a la débil atracción gravitatoria y golpea los dos pequeños satélites del borde de los anillos, arrancándoles polvo y fragmentos que se disponen alrededor del ecuador de Júpiter en forma de anillos.

Adrastea y Metis tienen unas órbitas muy parecidas y, como ya hemos dicho, están cerca del borde exterior del anillo luminoso. Sus períodos orbitales son de unas siete horas en el interior del límite de Roche. Su reducido tamaño ha evitado su destrucción por las fuerzas de marea del gigante vecino, pero el destino que les aguarda consiste en describir unas órbitas cada vez más estrechas y acabar por caer. La órbita mejor conocida es la de Metis, aunque las observaciones desde la Tierra no permiten confirmar las conjeturas sobre ninguna de las dos. Se trata

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS SATÉLITES DE JÚPITER

AÑO	NOMBRE	DESCUBRIDOR	NACIONALIDAD
1610	Ío	Galileo	italiana
1610	Europa	Galileo	italiana
1610	Ganimedes	Galileo	italiana
1610	Calisto	Galileo	italiana
1892	Amaltea	Barnard	estadounidense
1904/1905	Himalia	Perrine	estadounidense
1904/1905	Elara	Perrine	estadounidense
1908	Pasifae	Melotte	inglesa
1914	Sinope	Nicholson	estadounidense
1938	Lisitea	Nicholson	estadounidense
1938	Carme	Nicholson	estadounidense
1951	Ananke	Nicholson	estadounidense
1974	Leda	Kowal	estadounidense
1979	Adrastea	Jewitt *et al.*	estadounidense
1979/1980	Tebe	Synott	estadounidense
1979/1980	Metis	Synott	estadounidense



El disco de Júpiter se encuentra exactamente delante del Sol y lo eclipsa, permitiendo ver los anillos.

probablemente de cuerpos oscuros de pocas decenas de kilómetros de diámetro, que en el caso de Metis se estima en 40 km. Sus interacciones orbitales recuerdan las de algunos pares de satélites de Saturno.

AMALTEA

Tras Adrastea y Metis, descubiertos por las sondas, el satélite que sigue en orden de distancia es Amaltea, descubierto por Barnard en septiembre de 1892. Esta luna fue la última en ser descubierta visualmente. Amaltea gira de modo síncrono con un período de unas doce horas, un tiempo ligeramente mayor que el día joviano, con su eje mayor orientado hacia el planeta. Pero sólo con las imágenes enviadas por las Voyager se ha conseguido disponer de datos sobre sus características físicas. Las fotografías han revelado que su superficie es oscura, rojiza e irregular, y está muy craterizada. Aunque es uno de los satélites pequeños de Júpiter (unos 300 km de diámetro mayor), Amaltea es considerablemente mayor que cualquier asteroide; por ejemplo, su volumen es muy superior al de Fobos, satélite de Marte, de superficie similar. Su perfil irregular y su superficie rica en cráteres sugieren una fragmentación de impacto y una composición interna más similar a la de un cuerpo rígido como un asteroide que a la de los cuatro satélites galileanos. Algunos cráteres son extremadamente grandes comparados con el tamaño de Amaltea. Uno de ellos (Pan) tiene un diámetro de 100 km y otro (Gaea), uno de 80.

Amaltea tiene un albedo muy bajo y es además el objeto más rojo de todo el sistema solar. Este curioso fenómeno puede explicarse suponiendo que las capas superficiales visibles contienen un porcentaje de azufre procedente de Ío. La superficie podría haber quedado alterada por la interacción con la magnetosfera de Júpiter y por la presencia de materiales procedentes de micrometeoritos (compuestos de carbonatos de azufre).

Al igual que Ío, Amaltea emite más calor del que absorbe procedente del Sol, probablemente a causa de las corrientes eléctricas producidas por el campo magnético de Júpiter.



El curioso collage *de abajo, de fotografías tomadas por la sonda Voyager 2, ha permitido poner de manifiesto los anillos del gigante gaseoso.*

DATOS — PARÁMETROS ORBITALES DE LOS SATÉLITES MENORES

	Radio de la órbita (en miles de km)	Radio de la órbita (en radios jovianos)	Periodo (en días)	Excentricidad	Inclinación (en grados)
Adrastea	128,980	~ 1,8	0,298	0	0
Metis	127,960	~ 1,8	0,295	0	0
Amaltea	181,300	2,55	0,498	0	0,4
Tebe	221,900	3,11	0,675	0,015	0,80
Leda	11094	156	238,72	0,15	27
Himalia	11480	161	250,6	0,16	28
Lisitea	11720	164	259,22	0,11	29
Elara	11737	165	259,65	0,21	28
Ananke	21200	291	631	0,17	147
Carme	22600	314	692	0,21	163
Pasifae	23500	327	735	0,38	147
Sinope	23700	333	758	0,28	153



Amaltea, el mayor de los satélites menores de Júpiter.

DATOS	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SATÉLITES MENORES				
	Radio ecuatorial (en km)	Masa (kg)	Densidad (g/cm³)	Magnitud	Albedo
Amaltea	270 x 165 x 150	$1,91 \times 10^{16}$	1,8	14,1	0,05
Himalia	93	$9,56 \times 10^{18}$	2,8	15	0,03
Elara	38	$7,77 \times 10^{17}$	3,3	16,6	0,03
Tebe	55 x 45	$7,77 \times 10^{17}$	1,5	16	0,05
Metis	20	$9,56 \times 10^{16}$	2,8	17,5	0,05
Adrastea	~ 20	$1,91 \times 10^{16}$	4,5	18,7	0,05
Pasifae	25	$1,91 \times 10^{17}$	2,9	16,9	?
Sinope	18	$7,77 \times 10^{16}$	3,1	18	?
Carme	20	$9,56 \times 10^{16}$	2,8	17,9	?
Lisitea	18	$7,77 \times 10^{16}$	3,1	18,2	?
Ananke	15	$3,82 \times 10^{16}$	2,7	18	?
Leda	8	$5,68 \times 10^{15}$	2,7	20,2	?

TEBE

Entre la órbita de Amaltea y la de los satélites galileanos se ha descubierto una nueva luna: Tebe. Su período orbital es de unos 221.900 km; sus dimensiones, de 55 × 45 km de radio, y su albedo, de 0,05. Todavía sabemos poco acerca de este objeto, aunque es probable que su historia geológica haya seguido un curso semejante al de Amaltea.

SATÉLITES EXTERIORES

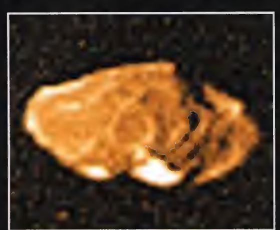
Todos los demás satélites menores poseen órbitas más externas que las de los cuatro satélites descubiertos por Galileo (Ío, Europa, Ganimedes y Calisto), a los que hemos dedicado ya un artículo. Estos satélites menores se dividen en dos grupos atendiendo a su órbita y a su origen. Los cuatro de órbita más interior son Leda, Himalia, Lisitea y Elara, cuya órbita está inclinada (unos 28 grados) con respecto al plano ecuatorial de Júpiter. Además, Leda es el satélite más pequeño de Júpiter.

Las otras cuatro lunas, Ananke, Carme, Pasifae y Sinope, están más alejadas y recorren órbitas inusuales pero similares con movimiento retrógrado. La inclinación de las órbitas de estas últimas es significativamente mayor que la de las demás (150 grados respecto al plano del ecuador joviano).

Dicho dato sugiere que estas lunas externas son los restos de un único gran asteroide que en el pasado fue capturado por Júpiter y luego destruido. Ninguna de las ocho lunas externas tiene una magnitud visual superior a 15.

Abajo, Leda, la luna más pequeña del sistema joviano, de sólo 8 km de radio.

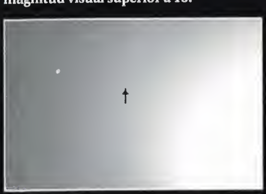




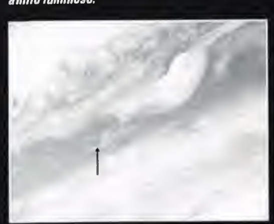
Arriba, otra imagen de Amaltea. Se puede observar la forma irregular del satélite, que es triaxial (270×165×150 km).



Metis, indicado por la flecha, es, junto con Adrastea, uno de los satélites más internos. Es probable que el material de los anillos proceda de esta luna.



La flecha indica Adrastea. Este satélite se encuentra, junto con Metis, en el borde del anillo luminoso.



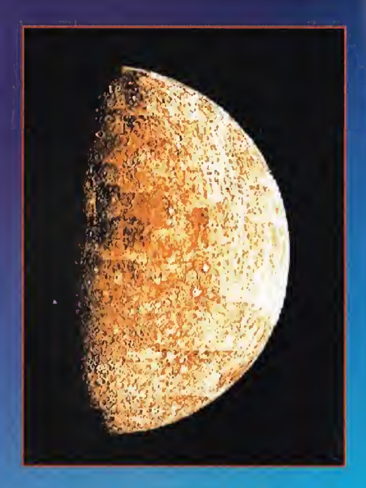
La flecha indica Tebe, otra luna de Júpiter, que parece sumergirse en la cercana atmósfera del planeta.



Otra imagen de Tebe (indicada por la flecha); su historia geológica pudo haber sido igual que la de Amaltea.

IMÁGENES EN FALSOS COLORES

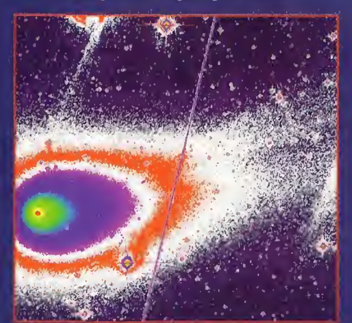
En astronomía, la elaboración digital de las imágenes en falsos colores se utiliza para intensificar el contraste y poner de relieve detalles que de otro modo serían difíciles de ver. Los falsos colores se utilizan también para dar una representación visual de observaciones efectuadas en regiones de longitud de onda distinta de la luz visible.





El uso de técnicas destinadas a mejorar el aspecto de las imágenes visuales se remonta a los años veinte, con la transmisión por cable de las fotografías para la prensa. En vez de tardar un semana por vía marítima, la imagen atravesaba el Atlántico en menos de tres horas a través de cables submarinos. Las imágenes se codificaban y transmitían, y luego eran reconstruidas en el otro extremo del cable por impresoras especializadas.

Las primeras imágenes tenían sólo cinco niveles de gris, pero la calidad de la reproducción no tardó en mejorar con la invención de un sistema que permitía impresionar una película fotográfica por medio de un pincel luminoso cuya intensidad se modulaba en función de los valores codificados en la imagen que se tenía que reproducir.



Arriba a la derecha, imagen en falsos colores de Mercurio. Los falsos colores se han utilizado para aumentar el contraste de los cráteres esparcidos por toda la superficie.

Abajo a la derecha, imagen de una estrella en formación, que pone de manifiesto en falsos colores el flujo emitido por una fuente luminosa en la nube de polvo L1157. Se trata de la zona de nacimiento de una protoestrella. Los datos se obtuvieron en el NRAO en 1995.

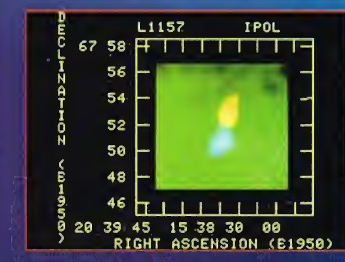
A la izquierda, el cometa Hyakutake fotografiado en 1996. Los niveles más brillantes de la imagen están codificados del rojo al blanco, donde el código salta nuevamente al rojo para volver al blanco. Se ha logrado así poner de manifiesto el inicio de la cola de iones.

Actualmente, la elaboración de las imágenes digitales se aplica a un enorme campo de problemas que, pese a no guardar ninguna relación entre sí, tienen en común la necesidad de aumentar la información gráfica contenida en una imagen para que el hombre pueda interpretarla y analizarla. Muchos campos de la física, la biología, la ingeniería y la astronomía sacan un gran partido del tratamiento digital de las imágenes.

En el caso de la astronomía, el uso de instrumentos cada vez más complejos ha requerido aplicar unas técnicas matemáticas cada vez más refinadas para elaborar y analizar las imágenes. Estas elaboraciones recurren a ordenadores cuya enorme capacidad de cálculo permite analizar las imágenes astronómicas con creciente rapidez.

IMÁGENES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Hasta finales de los años setenta, la mayor parte de las observaciones astronómicas se obtenían en forma analógica: fotografías, espectros y medidas fotométricas, con los consiguientes problemas de



¿QUÉ PROGRAMAS USAN LOS ASTRÓNOMOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS IMÁGENES?

Los astrónomos profesionales utilizan distintos programas para el tratamiento digital de las imágenes según los institutos en que operan y la finalidad de su trabajo. El STARLINK fue utilizado en los años ochenta en el Reino Unido, Australia, Hawai y Canarias. El STARLINK permite el tratamiento de imágenes obtenidas con cualquier longitud de onda, pero adolece de una cierta lentitud de cálculo y ya ha sido superado.
En Europa se desarrolló a finales de 1981 el MIDAS (Munich Image Data Analysis System), cuyo nombre indica que fue concebido principalmente para el tratamiento de imágenes (incluida la espectroscopia de CCD), esencialmente en los telescopios del ESO (European Southern Observatory, La Silla, Chile). El MIDAS posee un gran número de programas para la elaboración de imágenes y gráficas, así como para el análisis espectral. En Estados Unidos y Europa, muchos institutos astronómicos utilizan el IRAF (Image Reduction and Analysis Facility), diseñado en 1983. Este programa se utiliza entre otras cosas para tratar las imágenes procedentes del telescopio espacial Hubble. El IRAF es un programa flexible y potente que permite la reducción y el análisis digital de los datos procedentes de cualquier instrumento astronómico.



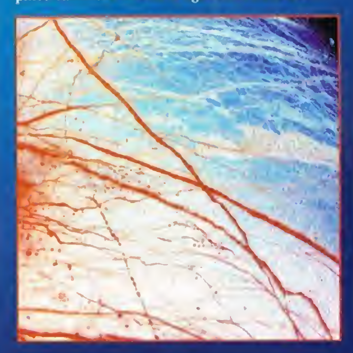
Arriba a la derecha, la silueta en forma de cabeza de caballo de la nebulosa de Orión. La distancia entre el morro y la crin es igual a 3 años luz. Los falsos colores abrillantan las regiones calientes (rojas) y oscurecen las regiones frías (azules).

calidad del dato de observación (no linealidad, saturación, escasa resolución, etc.), que hacían complicado y a veces problemático su uso científico.

Hoy, en una enorme cantidad de casos, las imágenes se producen en forma digital: así son todas las imágenes de satélite y las que se transmiten por vía telefónica (por satélite o por cable), así como las imágenes radioastronómicas y muchas imágenes de telescopios ópticos (por ejemplo, CCD). Otros tipos de imágenes, como las médicas y las astronómicas sobre soporte fotográfico (en la práctica, todas las imágenes astronómicas antes de los años ochenta), deben ser digitalizadas para poder recibir un tratamiento por ordenador.

Para convertir una imagen en una matriz de números suelen utilizarse microdensímetros o telecámaras. En el primer caso, el original debe colocarse sobre un soporte transparente (por ejemplo, placa o película fotográfica). Un pequeño pincel luminoso recorre la figura con movimiento regular y la luz que atraviesa la película se focaliza en un fotodetector que registra varios niveles de gris según la intensidad de la luz transmitida.

En el caso de la telecámara, la imagen puede estar también sobre un soporte opaco. En este caso es la luz reflejada la que es enviada al fotodetector. Se obtiene una imagen digital registrando niveles discretos de intensidad en posiciones discretas del original.



A la izquierda, imagen en falsos colores de la región Minos Linea del satélite joviano Europa, tomada por la sonda Galileo en 1996. Las zonas coloreadas muestran la diversa contaminación del hielo. El distinto color indica probablemente el diferente tamaño de los gránulos.

IMÁGENES PARA REPRESENTAR UNA FUNCIÓN

Cuando se habla de imágenes suele pensarse en representaciones en blanco y negro o en color, por ejemplo de vídeo, pero existen también representaciones en forma de curvas de nivel, o de impresora alfanumérica, cuyos matices se reproducen mediante oportunos caracteres tipográficos. Es útil recordar que todas estas consideraciones se aplican igualmente bien a las demás representaciones gráficas. Se utilizará entonces el término «imagen» para referirse a cualquier función bidimensional f(x,y) de la que quiera darse una representación gráfica.

IMÁGENES MONOCROMÁTICAS

Es fundamental entonces disponer de las técnicas necesarias para hacer resaltar los parámetros que se desean examinar, y en semejante contexto es básico el uso de colores. El ojo humano puede distinguir miles de gradaciones e intensidades de colores, mientras que sólo diferencia unas dos docenas de matices de gris.

Pero esto no significa que pueda visualizarse satisfactoriamente una imagen con sólo dos docenas de niveles de gris, porque, a medida que el ojo va recorriendo la imagen, el nivel de adaptación varía y pueden ser necesarios niveles de gris suplementarios para obtener una imagen razonablemente matizada en su conjunto. Se ha comprobado que para disponer de buenas imágenes en un grupo bastante amplio de temas



La gran mancha roja de Júpiter en falsos colores fotografiada por la sonda Galileo. La imagen fue tomada el 26 de junio de 1996 con tres filtros diferentes en el infrarrojo próximo. Los códigos utilizados en esta representación hacen que la gran mancha roja aparezca de color rosado y rodeada de una región azul. Aquí el color pone de manifiesto la altura de las nubes, del rojo al blanco las más altas, del azul al negro las más bajas.

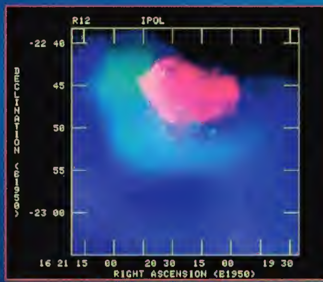
generalmente es necesario tener un centenar de niveles de gris.

En el caso de una imagen monocromática (en una sola banda), obtenida por ejemplo con un moderno CCD, a cada punto de la imagen digital (x,y) le corresponde una cierta función de intensidad f(x,y) proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en aquel punto. En tal caso se dice que se ha obtenido una reproducción en tonos de gris de la imagen. El término nivel de gris se refiere por tanto a un número que mide el nivel de intensidad desde el negro hasta el blanco pasando por todos los grises.

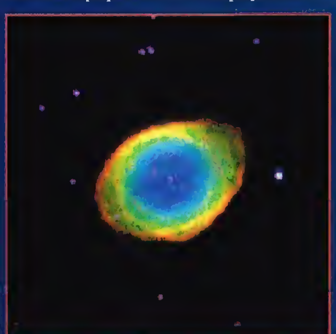
IMÁGENES EN COLOR

Los distintos colores del espectro visible pueden obtenerse superponiendo en varias proporciones los tres colores fundamentales, el rojo, el verde y el azul. A partir de éstos, se pueden obtener los colores secundarios. El magenta, por ejemplo, se obtiene con el rojo y el azul; el amarillo, con el rojo y el verde. Superponiendo con intensidad adecuada los tres colores fundamentales, o un secundario con su color fundamental opuesto, se obtiene luz blanca. En el caso de una imagen digital en color, a cada punto (x,y) se pueden asociar tres cantidades R(x,y), V(x,y) y A(x,y) de intensidad respectivamente roja, verde y azul, que varían entre ciertos máximos y mínimos. En tal caso se habla de reproducción de una imagen en pseudocolor.

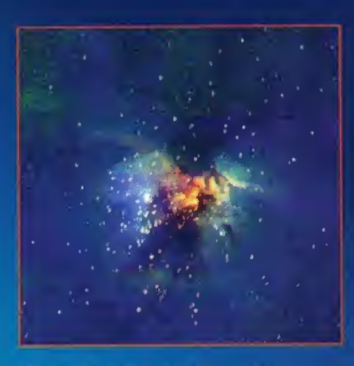
La reproducción en pseudocolor tiene la ventaja, respecto a la reproducción en blanco y negro, de multiplicar la escala de las tonalidades visibles. Además, como el ojo humano es más sensible a las diferencias de color que a los matices de gris, esta representación facilita la determinación de las estructuras que hay que buscar en la imagen.



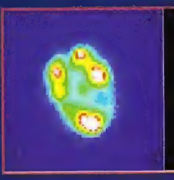
A la izquierda, distribución de una nube molecular. Esta imagen muestra en falsos colores la radiación emitida por las moléculas de monóxido de carbono (en rojo) en una nube de gas llamada R12, en la constelación de Ofiuco. Los datos son de 1995 y proceden del radiotelescopio NRAO, de 12 m. La nube es calentada por la estrella azul, Beta Oph. Se indica en color azul la zona de polvo más fría y en verde la más caliente.

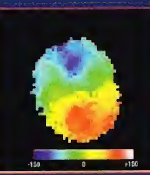


A la izquierda, mapa de la ionización de la nebulosa anular de la constelación de la Lira. Se representan en rojo las zonas de oxígeno neutro, en verde las de oxígeno ionizado y en azul las zonas de helio. Las zonas centrales azules son las más calientes.



A la izquierda, región de formación estelar NGC 2024, en la constelación de Orión. Se observan numerosas estrellas inmersas en zonas de gas y polvo. Algunas estrellas aparecen rojas porque se encuentran detrás de la capa de materia nebular.





A la derecha, zonas centrales de la galaxia NGC 3351. En la primera imagen son claramente perceptibles las emisiones de gas ionizado por parte de las estrellas jóvenes masivas del centro galáctico. La segunda muestra el mapa de la velocidad del gas a lo largo de la visual, medida con un espectrómetro. El azul indica que el gas se acerca; el rojo, que se aleja.

IMÁGENES EN FALSOS COLORES

Si se dispone de imágenes policromáticas, por ejemplo del mismo campo pero en bandas distintas, asociando a cada imagen un determinado color se puede lograr una reconstrucción sintética, en una sola visión, de las informaciones de las tres bandas. Este tipo de reproducción se llama en falsos colores y es evidente que ningún otro procedimiento, si no es analítico, permite comprender inmediatamente los fenómenos correlacionados en las distintas bandas.

En este caso se obtiene una representación visual de una imagen en la cual los colores no son los que vería el ojo humano en condiciones naturales. Con esta técnica se realiza una correspondencia directa entre la intensidad de una imagen y los valores de una escala de colores arbitraria, de tal modo que todavía sean más claramente visibles los defectos de la imagen y se dé mayor relieve a las zonas de contraste.

CÓMO ASIGNAR FALSOS COLORES A LOS DATOS

Cualquiera que sea el método con el cual una imagen se produce en forma digital, el problema fundamental consiste en saber cuántos puntos y cuántos niveles de gris o de color son necesarios para obtener informaciones útiles. El teorema del muestreo crítico, adecuado para el tratamiento matemático, suministra en sus límites de aplicabilidad una regla para el intervalo máximo de muestreo que se puede utilizar sin perder información.

Desde el punto de vista de la representación visual, sin embargo, este muestreo no suele tener puntos suficientes para que la imagen sea satisfactoria para la vista. Está claro que cuanto mayor sea el número de puntos y colores usados, mayor será el contraste visual obtenido, pero también es evidente que las prestaciones exigidas al ordenador crecen rápidamente, por lo que puede ser necesario llegar a compromisos cuando las imágenes que hay que tratar son complicadas.

No es fácil definir un criterio que indique cuándo una imagen es buena, pues el nivel de calidad puede depender de las aplicaciones y del grado de resolución (en el sentido de capacidad de distinguir los detalles) que se quiere conseguir.

Para hacerse una idea de las temperaturas, por ejemplo, se podría asignar el azul a lo frío, el verde a temperaturas intermedias y el rojo a lo caliente, pero cualquier esquema funcionaría bien. Generalmente el color se elige de tal forma que el aumento de contraste facilite el análisis de la imagen, pero es necesario recordar que no se trata de una fotografía en color, pues se requiere una escala de comparación o una oportuna leyenda para interpretarla correctamente.



A la izquierda, imagen en falsos colores de Titán, satélite de Saturno. Se advierte la presencia de varias capas de metano y otros elementos más ligeros, a cientos de kilómetros de altura. Las nubes más altas son de color azul.

EL CASO DE LAS LONGITUDES DE ONDA QUE NO CORRESPONDEN A LUZ VISIBLE

En astronomía es necesario aplicar métodos automáticos por ordenador siempre que la señal recibida no sea suficiente para formar una imagen en el sentido corriente del término. En astronomía X, por ejemplo, es frecuente que los fotones que recibe el detector sean tan pocos que la imagen sea una colección de puntos distintos imposible de tratar como una distribución casi continua.

En estos casos, para decidir si un conjunto de fotones constituye una señal y no una fluctuación



A la derecha, imagen del asteroide Ida tomada por la sonda Galileo. La fotografía original era en blanco y negro; las variaciones en falsos colores indican zonas de distintas «edades». Las azules son las más jóvenes.



A la izquierda, exterior de la corona solar en falsos colores tomada por el Skylab. Aquí, a distintos colores corresponden distintos niveles de temperatura, que pueden alcanzar los 2 millones de grados.

del ruido, se aplican métodos estadísticos y los resultados se comparan con los que son de esperar a partir de modelos o de distribuciones aleatorias.

LOS FALSOS COLORES EN LA PRÁCTICA

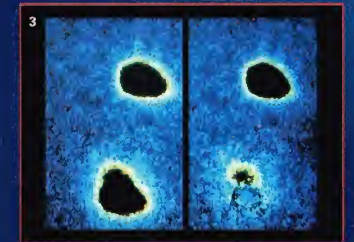
Examinemos ahora una serie de imágenes en falsos colores y veamos cómo esta técnica puede ayudarnos a analizar los datos. La figura 1 muestra la corona solar tal como la vio el Skylab en 1973. La parte externa de la corona fue controlada durante un período de nueve meses por medio de un coronógrafo que filtraba su luz. Como los eclipses son poco frecuentes y duran pocos minutos, la observación continua de la luz coronal requiere el uso de esta clase de telescopios que oscurecen la luz fotosférica. Aquí, los falsos colores ponen de manifiesto la estructura de la corona solar; nos permiten ver que se extiende mucho más allá de la corona interna, más densa, que sólo es visible sobre el fondo celeste durante los eclipses totales.

La figura 2 es una imagen en falsos colores de Venus obtenida a partir de los datos de radar recogidos durante la misión Magellan de la NASA entre 1990 y 1993. Para rellenar lagunas se han utilizado informaciones menos detalladas procedentes de las misiones Pioneer Venus Orbiter y Venera. Estos datos han brindado amplias pruebas de la existencia de fenómenos de impacto y de actividad volcánica en un período relativamente reciente. Para lo que es habitual en el sistema solar, la superficie de Venus es joven. Los cráteres más viejos parecen remontarse a hace 800 millones de años. En cualquier caso, no se han encontrado pruebas de vulcanismo activo.

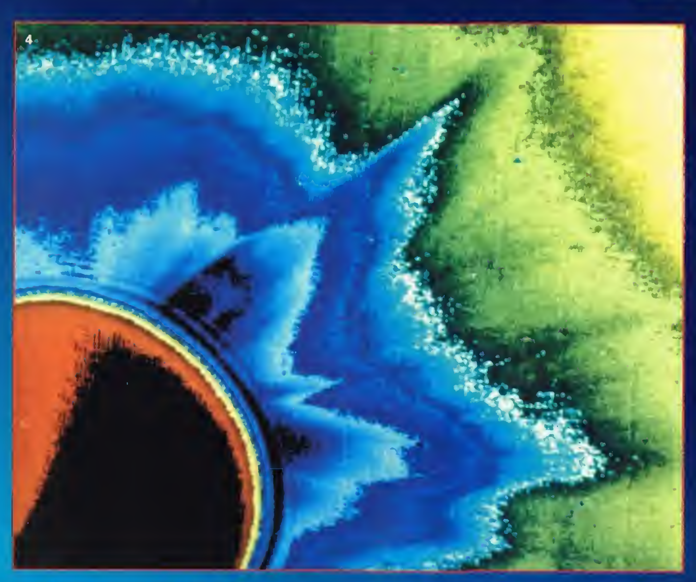
La figura 3 ilustra una radioimagen, tomada por el Very Large Array, de los cuásares gemelos 0957 + 561 A y B, que aparecen como elipses multicolores alineadas verticalmente en la figura de la izquierda (mapa gráfico en falsos colores realizado por ordenador). Este cuásar doble es en realidad una imagen doble de un solo cuásar distante. Según la teoría de la relatividad general de Albert Einstein, la gravedad de un cuerpo masivo situado en la trayectoria de la radiación puede desviar la luz, actuando como una lente capaz de enfocar la luz y formar distintas imágenes. En estas imágenes, el cielo de fondo está codificado de color verde y negro y las regiones con emisión de radio, en orden creciente de intensidad, de rojo, amarillo, azul oscuro, azul claro, violeta y blanco. Las imágenes en falsos colores ponen de manifiesto la estructura compleja del objeto.



A la izquierda, Venus en falsos colores, imagen elaborada a partir de los datos de radar tomados por la sonda Magellan entre 1990 y 1993. Se trata de una panorámica de la zona situada encima del ecuador, a una longitud de 180 grados este. Las zonas claras suelen indicar superficies irregulares, mientras que las oscuras corresponden a zonas lisas y tal vez recubiertas de polvo.



A la izquierda, imagen óptica con luz roja del cuásar doble 0957 + 561 A y B, codificada a partir de la intensidad (a la izquierda) y con la imagen inferior del cuásar eliminada (a la derecha). La imagen fue tomada por el telescopio de 2,2 m de Mauna Kea (Hawai).



A la izquierda, imagen de un sector de la corona solar, elaborada en falsos colores, basada en los datos transmitidos por el satélite SMM (Solar Mission Maximum). Los diversos colores representan distintas densidades de gas y van del púrpura (densidades más elevadas) al amarillo (densidades más bajas).

La figura 4 muestra en falsos colores la densidad y la estructura de la corona solar en una imagen procedente del polarímetro coronógrafo del satélite SMM (Solar Mission Maximum), puesto en órbita en 1980 para el estudio del máximo solar.

La fotosfera está oculta por el disco del coronógrafo abajo a la izquierda y la luminosidad de la corona es puesta de manifiesto por bandas de colores (isofotas) que engloban regiones de brillo cada vez mayor. Las partes más débiles están delimitadas por isofotas azules y las más intensas por isofotas verdes (la región central brillante es puesta de relieve por isofotas azules). Esta figura se ha obtenido con la luz verde de los átomos de hierro 13 veces ionizados debido a las altas temperaturas (1-2 millones de grados).

Imágenes similares han revelado que los *flares* y las protuberancias solares pueden lanzar gas coronal al espacio con una velocidad de hasta 1.000 km/s. Estas nubes pueden ser todavía mayores que el Sol, pero su masa gaseosa es igual a unas pocas millonésimas de la masa terrestre.

En la imagen, el penacho que se extiende desde la parte más densa de la corona (de color azul oscuro) puede observarse a lo largo de 1,6 millones de kilómetros.

La figura 5 es una imagen en falsos colores del anillo C de Saturno, obtenida el 23 de agosto de 1981 por la Voyager 2, a 2,7 millones de kilómetros de distancia, a partir de fotos con longitudes de onda verde, violeta y ultravioleta. Las imágenes originales han sido codificadas en varios colores según la secuencia de longitudes de onda, pero desplazadas a longitudes de onda mayores: el verde se convierte en anaranjado, el violeta en verde y el ultravioleta en azul. De todos modos, este tratamiento en falsos colores sigue mostrando aproximadamente los colores verdaderos, con las regiones que reflejan las longitudes de onda menores coloreadas de azul y las que lo hacen con las más largas de color anaranjado.

El anillo C aparece azul, mientras que una pequeña parte del anillo B del fotograma es amarilla, lo cual indica una distinta composición. En total se pueden ver más de 60 pequeños anillos, algunos luminosos y otros oscuros.



A la izquierda, imagen en falsos colores del anillo C de Saturno. Los anillos aparecen en todo su esplendor en las fotografías tomadas por la Voyager 2. Los astrónomos no han determinado todavía si los anillos son el resultado de la disgregación de una luna o de meros fragmentos que nunca llegaron a formar una; de todas formas, con estas imágenes han logrado establecer que se trata de una miríada de fragmentos de roca y hielo en los que se refleja la luz del Sol.

SAGITARIO

Conocida como una de las constelaciones zodiacales, Sagitario es una maravilla por la abundancia de objetos que contiene.



Sagitario es la constelación en la cual se encuentra el centro galáctico. Su localización nos permite determinar alrededor de qué punto gira el sistema solar mientras orbita por la Vía Láctea.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Sagitario se puede colocar entre otras dos constelaciones del Zodiaco, Capricornio y Escorpión.

El astro más brillante de Sagitario, Épsilon, se encuentra unos diez grados a oriente de la cola del Escorpión.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Muchas son las estrellas que superan en luminosidad a Alfa (magnitud 4), que lleva el nombre de Al Rami, «el arquero», o Rukbat, «la rodilla». La estrella, por lo demás, no es especialmente interesante.

Beta es una estrella doble aparente; Beta 1 (magnitud 4), o Arkab Prior, «la parte anterior de la pierna», dista probablemente 130 años luz de nosotros, mientras que Beta 2 (magnitud 4,3), o Arkab Posterior, «la parte posterior de la pierna», se encuentra a una distancia igual a 110 años luz de la Tierra. Su separación aparente en el cielo es de unos 15', suficiente para resolverlas a simple vista.

También Gamma aparece a simple vista como un sistema doble, cuyas componentes se llaman Gamma 1 y Gamma 2. La magnitud de la primera oscila entre 4,3 y 5,1 en poco más de siete días y medio. La segunda se llama Nash («punta de la flecha») y es de magnitud 3.



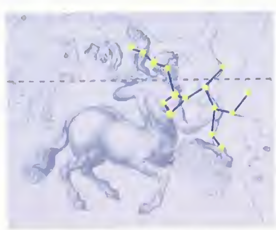
La nebulosa Laguna, conocida también como M8, es una de las más luminosas de la bóveda celeste.

Como ya se ha dicho, Épsilon (magnitud 1,9) es la más brillante, de color blancoazulado. Se llama Kaus Australis, que significa «la parte meridional del arco».

OBJETOS DE SAGITARIO

Esta constelación es una de las más exploradas por los astrónomos, pero no tanto por sus objetos estelares como por sus objetos difusos.

Los objetos de Messier contenidos en ella son 15: las nebulosas M8, M17 y M20, los cúmulos abiertos M18, M21, M23, M24 y M25, y los cúmulos globulares M22, M28, M54, M55, M69, M70 y M75.



La constelación de Sagitario representa a un centauro disparando una flecha.

Los más famosos son seguramente las tres nebulosas, conocidas respectivamente con los nombres de Laguna, Omega y Trífida. La primera está en el límite de observabilidad a simple vista, pero todas son fácilmente observables como manchas más o menos luminosas en los telescopios de aficionado.

M22 es un brillante cúmulo globular próximo a la eclíptica, visible con unos prismáticos como un objeto luminoso de sexta magnitud y forma elíptica. Dada su posición, es fácil observar los planetas que pasan por sus cercanías. Merece la pena sondear los confines de Sagitario en busca de los numerosos objetos pertenecientes al catálogo NGC. Como curiosidad, puede señalarse una galaxia, NGC 6822, una pequeña galaxia del Grupo Local de difícil observación pese a estar más cerca que la galaxia de Andrómeda; esta dificultad se debe a su baja luminosidad, equivalente a la de unas pocas decenas de millones de soles.

La observación de galaxias próximas a la Vía Láctea es obstaculizada por las numerosas nubes oscuras y por los campos estelares luminosos presentes en las proximidades del plano galáctico.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

SAGITARIO

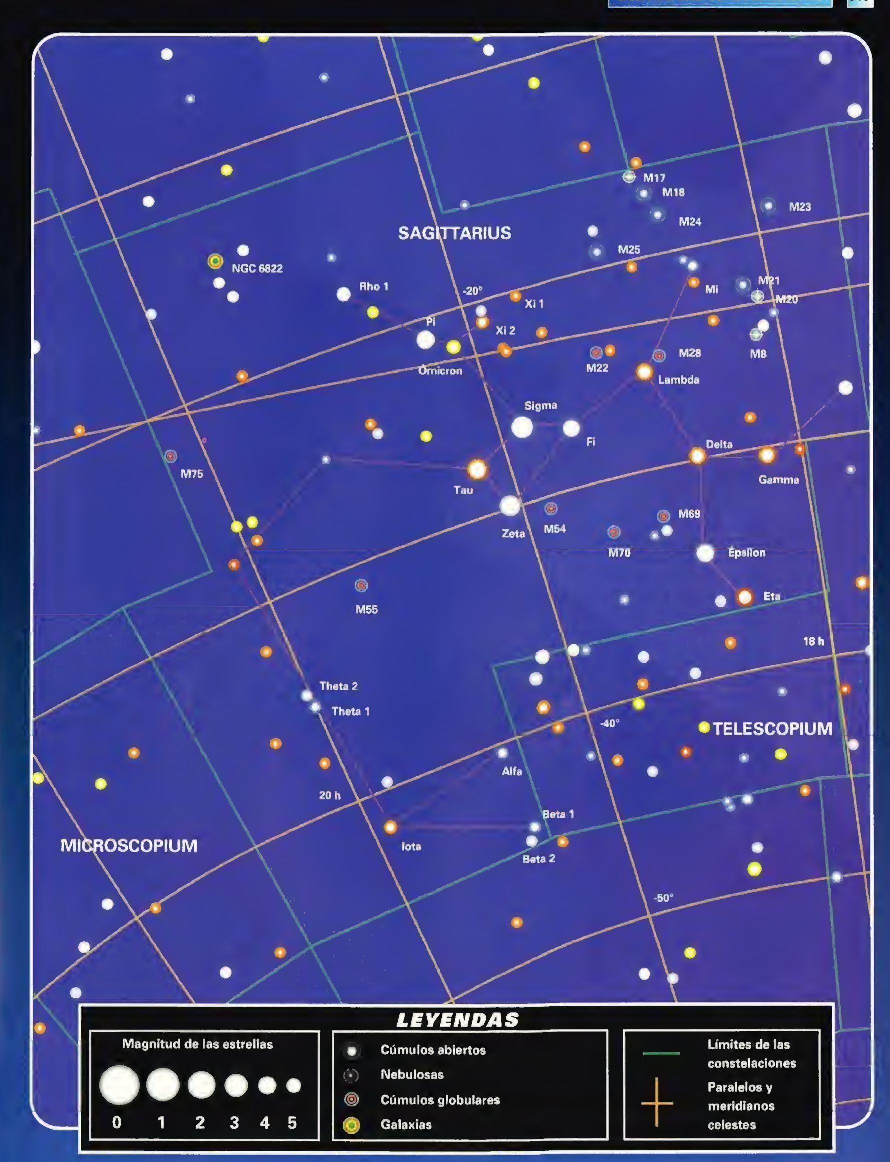
La tradición representa a Sagitario como un arquero con la cabeza y el busto humanos y el cuerpo de caballo. No hay que confundir esta constelación con la del Centauro (en el hemisferio celeste meridional), en la que se representa a Quirón. Sagitario es de origen sumerio y sólo después entró a formar parte de la tradición griega, originando una cierta confusión entre los dos centauros del cielo.

Eratóstenes, quien decía que los centauros no usaban arco, vio en esta constelación una figura con dos piernas y una cola de sátiro, que asimiló a Croto, hijo de Eufeme, a su vez hija de Zeus. Croto, que inventó el tiro con arco, está representado en el cielo en plena demostración de sus habilidades.

DÓNDE BUSCARLA

SAGITARIO

Sagitario, que contiene el centro galáctico, es la constelación en la que se encuentra el Sol el día del solsticio invernal, en el cual alcanza la mínima declinación. Abarca una región del cielo comprendida entre las 17 horas 40 minutos y las 20 horas 25 minutos de ascensión recta, y entre –12 y –45° de declinación, aproximadamente.


SAGITTARIUS
M17
M18
M23
M24
M25
NGC 6822
Rho 1
-20°
Xi 1
Mi
M21
M20
Pi
Xi 2
M28
M8
M22
Ómicron
Lambda
Sigma
Fi
Delta
M75
Tau
Gamma
M69
M54
Zeta
M70
Épsilon
M55
Eta
18 h
Theta 2
Theta 1
-40°
TELESCOPIUM
Alfa
20 h
Beta 1
MICROSCOPIUM
Iota
Beta 2
-50°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Nebulosas
Cúmulos globulares
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL

Después de la síntesis de Isaac Newton, que unificaba los movimientos orbitales de los planetas con la caída de graves en la Tierra, Einstein, en 1916, sintetizó años de trabajo de sus predecesores eliminando la gravedad como fuerza y sustituyéndola por la noción de espacio-tiempo curvo.



El número 49 de los *Annalen der Physiken*, publicado en 1916, lleva en la página 769 un artículo firmado por Albert Einstein que enuncia los «fundamentos de la teoría general de la relatividad». La revolución científica más importante de nuestro siglo y tal vez la más significativa se realizaba sin otro instrumento científico que el formalismo matemático. La reacción de la mayoría de los físicos fue de incredulidad y muchos expresaron su disgusto ante una teoría que no podía comprenderse, pues el análisis tensorial, el lenguaje matemático de la teoría de la relatividad general, sólo estaba, en aquel entonces, al alcance de unos pocos físicos.

EL PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA

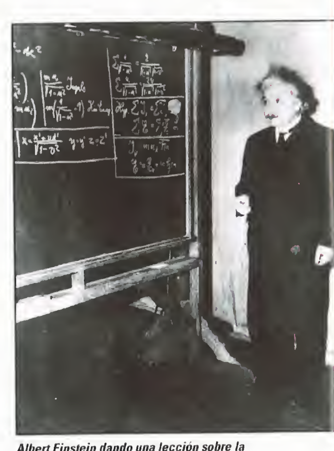
El trabajo de Einstein se basa en la elucidación del significado profundo del principio de equivalencia. Este principio enuncia la exacta equivalencia de la masa gravitacional y la masa inercial. La primera es la responsable de la creación del campo gravitacional tal como lo describe la teoría de Newton; la segunda es la medida de la reacción de un cuerpo a la acción de las fuerzas que actúan sobre él. La equivalencia de ambas explica que dos bolitas de distinta masa caigan de igual forma si se sueltan desde lo alto de la torre de Pisa (como hiciera Galileo). En efecto, si la fuerza con que la gravedad terrestre atrae una bolita de masa Y es igual a y, la fuerza con que atraerá otra bola de masa X (donde X es el doble de Y) es el doble de y; por ello, la aceleración de las dos bolas será igual y ambas llegarán al suelo en el mismo instante. Ésta fue la observación de Galileo, enunciada como principio por Newton, de la que Einstein sacó gran partido en un experimento mental (un experimento que no puede realizarse, sólo imaginarse). El instrumento preferido por Einstein son los ascensores imaginarios, ambientes cerrados en los que el observador no se da cuenta de lo que sucede fuera.



EL ASCENSOR IMAGINARIO

Tratemos de imaginar la sensación de una persona que se encuentra en un ascensor inmóvil cerca de un planeta en presencia de gravedad; el observador ideal encerrado allí dentro verá que las bolitas se aceleran hacia el suelo del ascensor, todas con la misma aceleración g (supuesta constante), independientemente de su masa. Es exactamente lo mismo que experimenta una persona encerrada en un ascensor idéntico arrastrado por el espacio vacío con una aceleración g.

A la izquierda, vista del laboratorio de la Technische Hochschule de Zurich. Aquí fue donde Einstein realizó muchos de sus primeros experimentos.



Albert Einstein dando una lección sobre la relatividad. Las nuevas teorías conmocionaron la física moderna, produciendo un «salto adelante» comparable al de las teorías newtonianas.

No hay manera alguna de saber si la aceleración de las bolitas es verdadera o es debida a la gravedad.

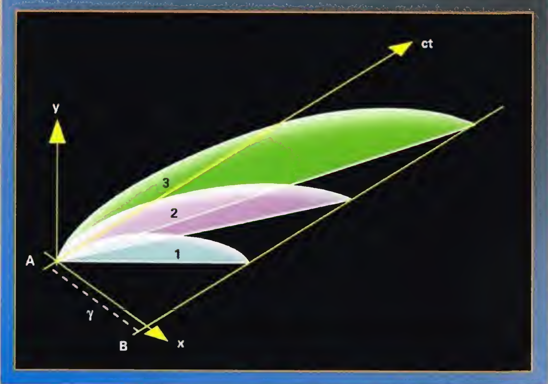
Igualmente, podemos imaginar que estamos encerrados en un ascensor inmóvil en el espacio vacío: todas las bolitas que utilizábamos en nuestro experimento estarán inmóviles en el aire o se moverán rectilínea y uniformemente. Por tanto, estaremos en un sistema de referencia inercial, donde valen las leyes y las transformaciones de la relatividad restringida. Einstein trataba precisamente de extender las leyes de la relatividad a todos los sistemas de referencia, sin

LA GRAVEDAD SEGÚN EINSTEIN

Todos los cuerpos de la Tierra recorren la misma trayectoria en el espacio-tiempo curvo. Esto no es verdad si consideramos sólo las trayectorias en el espacio normal. En la figura, una piedra puede ir de A a B recorriendo distintas parábolas que tienen por fórmula

$$y = x(\mathrm{tg}\alpha) - \frac{g}{2v^2\cos^2\alpha}x^2,$$

donde g es la aceleración de la gravedad en la Tierra, v la velocidad y α el ángulo con el que se lanza la piedra. Hay distintas posibilidades para ir de A a B; cuanto más alto se lanza, más tarda la piedra y mayor es la altura que alcanza la parábola. La línea amarilla representa el objeto más veloz que se puede lanzar: un rayo de luz, que la gravedad terrestre desvía muy poco. Si se añade la dimensión tiempo a las dimensiones espaciales y se mide el tiempo como el espacio recorrido por la luz entre su velocidad, en el espacio multidimensional de la figura todas las parábolas tienen por fórmula $y = -(g/2c^2)x^2$, donde c es la velocidad de la luz, tanto la del rayo de luz como la del objeto lanzado más hacia arriba: la gravedad deja de ser una fuerza para convertirse en una geometría curvada por la masa de la Tierra.



limitarse a los inerciales. Supongamos ahora que nos encontramos en un ascensor cerrado que está cayendo hacia un planeta que genera un campo gravitacional a su alrededor. Antes del inevitable impacto, las bolitas que soltaremos dentro del ascensor permanecerán inmóviles en el aire o se moverán rectilíneamente y con velocidad constante. Por tanto, no nos percataremos de que estamos cayendo en el seno de un campo gravitacional y será como si estuviésemos inmóviles en el espacio vacío. Ninguna diferencia. ¡Antes del impacto, naturalmente!

Una observación más precisa nos indicará que la bolita, que primero se alejaba de nosotros a velocidad constante hacia arriba, sufre al cabo de un cierto tiempo una aceleración que la aleja cada vez más velozmente de nosotros. Esto significa que el ascensor debe ser lo suficientemente amplio como para que podamos medir la diferencia de la aceleración de la gravedad (o la fuerza) entre la posición de la bolita y la nuestra, pues nosotros nos encontramos más cerca de la superficie del planeta. Así reza, pues, el principio de equivalencia tal como lo formuló Einstein: en todo punto del espacio-tiempo, incluso si está inmerso en un campo gravitacional, es posible hallar un sistema de referencia localmente inercial, donde por localmente se entiende no lo bastante extenso espacial y temporalmente como para advertir las diferencias de campo gravitacional entre un punto y otro. Éste es el sistema de referencia en el cual nos encontraremos en caída libre en el campo gravitacional y en él valdrán las leyes de la relatividad restringida.

Una vez formulada esta intuición, Einstein aplicó el formalismo del análisis tensorial para buscar el significado profundo de la gravitación. Llegó a la conclusión de que ésta no es una fuerza, como pueda serlo la electricidad, sino una propiedad del espacio-tiempo. Dicho simplemente, la materia deforma el espacio-tiempo. En términos matemáticos, el tensor de energía-impulso modifica el tensor métrico. En el espacio-tiempo curvo todos los cuerpos están obligados a no moverse en línea recta, cayendo al suelo en trayectorias parabólicas o completando órbitas elípticas alrededor de una estrella.

Un astronauta aislado que experimenta la ingravidez (abajo) no puede saber si es debida a la ausencia de campo gravitacional o a un movimiento acelerado que anula su efecto. Esta consideración es una consecuencia de la relatividad general.



LAS FÓRMULAS DE LORENTZ

Ya la relatividad especial había introducido una posible variación de los tiempos, las longitudes y las masas según el sistema de referencia inercial en que se miden estas magnitudes. En efecto, utilizando las transformaciones de Lorentz para un observador en reposo, se obtiene que:

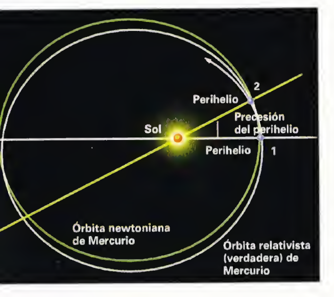
1 los relojes en movimiento respecto a él van más despacio;
2 las longitudes en movimiento se contraen;
3 los cuerpos en movimiento tienen una masa mayor.

Simplemente, los cuerpos caen siguiendo las trayectorias más breves posibles para aquel específico espacio-tiempo. Dichas trayectorias se llaman geodésicas.

Las geodésicas del espacio-tiempo euclídeo, el espacio-tiempo en el cual estamos acostumbrados a vivir y pensar, son líneas rectas. El camino más corto para ir de un punto a otro es siempre la recta que los une. Y la línea recta es única una vez fijados los dos puntos, el de partida y el de llegada. En esta geometría euclídea, las rectas paralelas no se encuentran nunca (salvo en el infinito, pero éste es inalcanzable) y la suma de los ángulos interiores de un triángulo es igual a 180°. Un espacio que posea estas características se llama, además de euclídeo, plano, y corresponde en la realidad a zonas del universo muy alejadas de todo tipo de materia y energía. Está claro que apenas sucede algo notable en el universo se está en presencia de materia (o de energía, ya que según la relatividad especial ambas son exactamente lo mismo) y el espacio-tiempo se curva súbitamente: el espacio-tiempo plano sólo es una cómoda aproximación que podemos hacer en pequeñas regiones del espacio, donde la gravedad no varía apreciablemente. Una pequeña porción de la superficie terrestre, como un laboratorio o una calle, son suficientemente planas como para permitirnos utilizar una geometría plana y evitarnos tener que efectuar complicados cálculos tensoriales en cuatro dimensiones para coger el autobús que nos llevará al cine.

Imagen del planeta Mercurio transitando sobre el disco solar. La precesión de su perihelio fue una de las primeras pruebas experimentales de la validez de la teoría de la relatividad general.

La presencia de masas deforma el espacio-tiempo. Se puede advertir esto en el caso de la órbita de Mercurio, cuya forma es alterada por la proximidad del Sol.



PRUEBAS EXPERIMENTALES

El sistema solar está distribuido por una región del universo cuya geometría es casi siempre euclídea. Sólo en las inmediatas proximidades del Sol el campo gravitacional es lo suficientemente intenso como para que se dejen sentir los efectos del espacio-tiempo curvo; fue precisamente en esta zona donde se realizaron las dos primeras pruebas experimentales para comprobar la exactitud de la teoría de la relatividad especial. La primera hipótesis de Einstein concernía a los rayos de luz: también la luz, que sólo es energía, experimenta la curvatura del espacio-tiempo y sigue trayectorias curvas. Sin

necesidad de ir en persona cerca del Sol para observar las posiciones de las estrellas próximas al borde del disco solar (durante un eclipse de Sol, de otro modo la medida habría sido imposible), el astrofísico Arthur Eddington midió exactamente un desplazamiento igual al predicho por Einstein. Actualmente, el fenómeno se observa a gran escala, y no pocas veces, en las lentes gravitatorias. Grandes masas, como cúmulos de galaxias, curvan los rayos luminosos procedentes de objetos lejanísimos y nos permiten observar las galaxias en las primeras fases de su vida. También ocurre que las galaxias desdoblen o multipliquen las imágenes de cuásares situados fortuitamente detrás de ellas y a lo largo de nuestra visual.

Einstein calculó además que en un campo gravitacional intenso las órbitas no deberían ser elipses perfectas: los objetos deberían recorrer una trayectoria en espiral alrededor del astro central, completando órbitas elípticas no fijas en el espacio. Su perihelio debería girar lentamente. En nuestro sistema solar el campo gravitacional del Sol es tan débil que sólo el planeta más próximo, Mercurio, sufre de manera apreciable y medible este efecto (precesión del perihelio). Su valor ha resultado ser exactamente igual al previsto por la relatividad general.

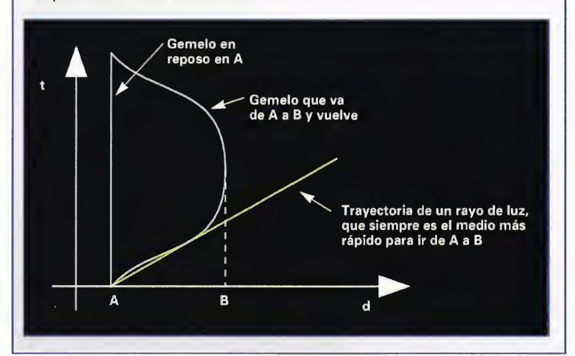
Una última predicción del propio Einstein fue la de que los relojes deberían ir más lentos (dilatación del tiempo) en presencia de un campo gravitacional: la escasa entidad del fenómeno y la dificultad de las medidas retrasó notablemente la observación de este fenómeno y Einstein murió antes de corroborarse, en 1960, por medio de radiaciones gamma enviadas a tierra desde una altura de 23 m. En 1976, por medio de relojes atómicos de gran precisión, se logró detectar la diferencia del paso del tiempo en la superficie terrestre y en un avión a gran altura. Hoy podemos averiguar si el reloj en examen está en el suelo o en lo alto de un rascacielos, pero los efectos más importantes de este fenómeno se han observado en el increíble laboratorio que es nuestro universo. Las estrellas de neutrones son tan densas que el campo gravitacional a su alrededor produce una precesión de un objeto orbitante 30.000 veces más rápida que la de Mercurio respecto al Sol.

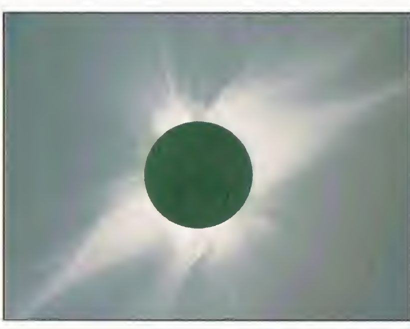
Los agujeros negros frenan el tiempo hasta el punto de detenerlo: un hipotético observador que estuviera mirando una astronave o una estrella caer en un agujero negro la vería frenar pero nunca alcanzar el horizonte del agujero (dado por el radio de Schwarzschild). En su sistema de referencia en caída libre (localmente inercial), el que está cayendo no se daría cuenta de nada y entraría en el agujero negro.

Se trata de una pura hipótesis teórica, porque en realidad sabemos que las fuerzas gravitacionales de marea destruirían cualquier cosa en las proximidades del agujero negro. La confirmación experimental de las teorías de Einstein se produjo en un tiempo relativamente posterior a las propias formulaciones. Se trata de algo corriente en las modernas teorías científicas.

LA PARADOJA DE LOS GEMELOS

Esta famosa paradoja, en la cual uno de dos gemelos emprende un viaje interestelar a una velocidad próxima a la de la luz y al volver a casa encuentra a su hermano mucho más viejo que él, no se puede explicar recurriendo sólo a la relatividad especial. La particularidad del viaje del gemelo astronauta consiste en acelerar para alcanzar la velocidad de la luz y en frenar para volver a la Tierra. Dado que no es posible distinguir entre gravedad y aceleración, también para el gemelo acelerado o decelerado el tiempo transcurre más lentamente, exactamente como si se encontrara en presencia de un campo gravitacional intensísimo. El gemelo que permanece en casa, inmóvil, ve que su tiempo transcurre como siempre, pero el del gemelo astronauta lo hace más lentamente. En la figura, las dos vidas paralelas se describen como curvas del espacio-tiempo: el gemelo en reposo está representado por una línea recta paralela al eje vertical de los tiempos y el gemelo astronauta por una curva que se aleja y regresa al cabo de un cierto tiempo. En la segunda trayectoria los tramos curvos indican las aceleraciones que hacen que el tiempo transcurra más lentamente.





Otra prueba experimental de la validez de la teoría general de la relatividad es el desplazamiento aparente de las imágenes de las estrellas que en perspectiva aparecen muy cerca del Sol. Estas observaciones se realizan durante los eclipses totales, como el que muestra la imagen.

MENSAJES AL ESPACIO

La vida está probablemente muy extendida en el universo, si bien es bastante difícil ponerse en contacto con eventuales civilizaciones extraterrestres. Sin embargo, ¿por qué no tratar de enviar mensajes?



Muchos astrónomos creen en la posibilidad de que la vida se haya desarrollado en muchos lugares del universo, incluida nuestra propia Galaxia. Hasta ahora, por desgracia, carecemos de pruebas concretas que avalen dicho supuesto. Aunque fuera así, difícilmente podríamos disponer en breve tiempo de la tecnología necesaria para visitar mundos habitados. Pero nada impide mandar al espacio, de manera más o menos casual, mensajes que puedan ser interceptados por otras civilizaciones, como papiros dentro de tecnológicas botellas vagando por el inmenso océano del universo.

EL MENSAJE DE ARECIBO

Un histórico mensaje interestelar fue el que lanzó al espacio el radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico) el 16 de septiembre de 1974, con ocasión de la inauguración de aquel nuevo y potente instrumento. En aquel caso el objetivo no era casual, pues se trataba del cúmulo globular M13, en la constelación de Hércules, situado a una distancia de unos 25.000 años luz. La longitud de onda de emisión era de 12,6 cm, correspondientes a una frecuencia de 2.381 MHz; la señal duraba 169 segundos y tenía una potencia notable. Si hay algún planeta habitado alrededor de alguna de las 300.000 estrellas de M13, y si hay una civilización tecnológica capaz de descifrar



Fotografía del cúmulo globular M13, en la constelación de Hércules, hacia el cual se ha dirigido el mensaje lanzado por el radiotelescopio de Arecibo.

Imagen del gran radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico. La parábola del instrumento está instalada en una cuenca natural; arriba a la izquierda se ve la celda suspendida donde se encuentra el foco del radiotelescopio.

MENSAJES EN CLAVE

El mensaje enviado desde Arecibo contenía 1.679 bits de información; este número, 1.679, es el producto de 23 por 73, lo cual sugirió disponer los bits dentro de un rectángulo de 23 bits de base por 73 de altura.
El mensaje, ideado por el profesor F. Drake, pionero del SETI (búsqueda de señales inteligentes procedentes del espacio), comienza declarando que los números se expresan en código binario; luego se especifican los números atómicos de los elementos más importantes para la vida en la Tierra: hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo. Los cuadraditos verdes y azules representan, respectivamente, los nucleótidos y la doble hélice del ADN (el constituyente de los cromosomas del que depende la reproducción de la vida con los caracteres genéticos). El bloque blanco vertical representa el número (4.000 millones) de nucleótidos de los genes del hombre. Éste se representa en color rojo, su población total se expresa por el número situado a su derecha y su altura por el número a su izquierda (tomando como unidad la longitud de onda de la transmisión: 12,6 cm). Esta parte es probablemente la menos fácilmente interpretable por eventuales científicos extraterrestres. Luego se representa en color amarillo el sistema solar, con sus nueve planetas, del que destaca el tercero en orden de distancia al Sol (la Tierra). Por último, de color violeta, se representa el radiotelescopio que transmite el mensaje, cuyo tamaño (aproximadamente 305 m), se da abajo.

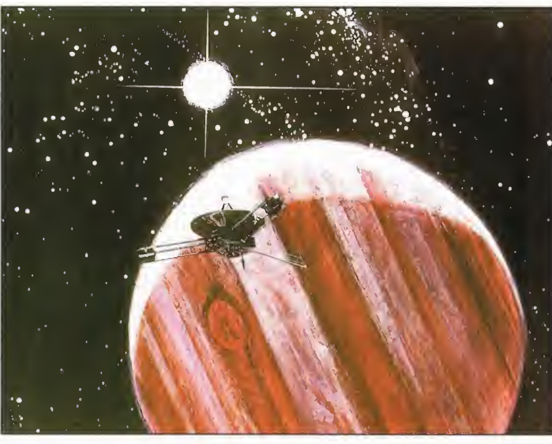


el mensaje y localizar su fuente, lo sabremos quizás dentro de 50.000 años (25.000 para el viaje de ida y otros tantos para el de vuelta). No es un modo particularmente ágil de sostener una conversación...

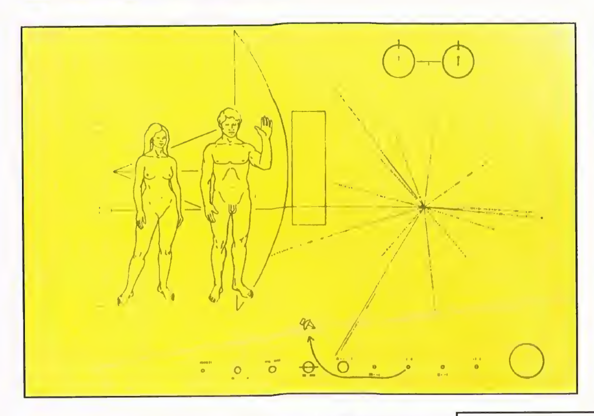
LAS PIONEER 10 Y 11, MENSAJERAS DEL ESPACIO

Las Pioneer 10 y 11 fueron lanzadas, respectivamente, el 3 de marzo de 1972 y el 6 de abril del año siguiente, en dirección al sistema solar exterior, la primera con el objetivo de visitar Júpiter y la segunda con el de seguir viaje hacia Saturno. Las misiones fueron un éxito, pero los científicos se habían dado cuenta antes del lanzamiento de que las órbitas de las sondas las llevarían tarde o temprano fuera del sistema solar. Las dos sondas Pioneer, junto a las dos sondas Voyager lanzadas en 1977, son actualmente los artefactos humanos más alejados de la Tierra. El récord de distancia lo ostenta la Pioneer 10, que a finales de 1990 había superado las 50 unidades astronómicas, esto es, 50 veces la distancia Tierra-Sol. Los cálculos realizados indican que en 1998 la Voyager 2, que es el objeto más veloz jamás construido por el hombre, se encontrará todavía más lejos (aunque en una dirección del espacio completamente distinta) y por lo tanto se convertirá en el objeto terrestre más alejado del planeta madre.

Las previsiones indican que dentro de unos 3.200 años la Pioneer 10 llegará a la primera estrella de su recorrido. Si alguien, en algún lugar, siente curiosidad por esta especie de regalo del espacio y se toma la molestia de interceptarlo, encontrará a bordo una placa de aluminio dorado que lleva grabada un dibujo. Este dibujo representa a un hombre y una mujer (figuras presumiblemente del todo incomprensibles para un alienígena), el primero con la mano alzada en guisa de saludo. En la parte inferior de la placa hay una representación esquemática del sistema solar, una vez más con la Tierra destacada, y en el centro una especie de estrella, que pretende ser un sistema de referencia basado en la posición de 14 púlsares y que sirve para determinar la posición del Sol dentro de la Galaxia. Se espera que una eventual civilización inteligente haya estudiado, como nosotros, los púlsares y sepa averiguar la clave del mensaje. Arriba hay una representación esquemática de la transición atómica del



Representación artística de una sonda Pioneer aproximándose a Júpiter. Las dos Pioneer iniciaron su periplo hace unos veinte años.

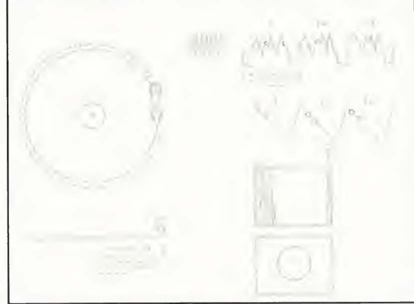


en el 2004, comenzó en octubre de 1997. Se trata de una misión muy esperada, que debería producir extraordinarios resultados. Esta sonda deberá soltar a su vez una minisonda, la Huygens, sobre Titán, el mayor de los satélites de Saturno, tan grande que posee atmósfera. Aunque la atmósfera de Titán no es apta para una vida de tipo terrestre, no está del todo excluido que en esta luna pueda haberse desarrollado alguna forma de vida primitiva. En los meses que precedieron al lanzamiento, la ESA (Agencia Espacial Europea), que junto a la NASA gestiona la misión, recogía vía Internet los mensajes de quien quisiera escribir algo en una especie de compact-disc que viajaría en la Huygens.

Un grupo de investigadores quiso dejar una especial advertencia a nuestros hermanos del espacio: «Beware of humans!», esto es, «¡Cuidado con los seres humanos!».

átomo de hidrógeno que produce una característica raya de 1.420 MHz de frecuencia, correspondiente a una longitud de onda de 21 cm y de la que se espera que pueda hacer las veces de «unidad de medida universal».

Arriba, reproducción de la placa que va a bordo de las sondas Pioneer, destinada a eventuales seres inteligentes extraterrestres.



A la derecha, detalle de las informaciones dibujadas en el estuche del disco de las Voyager; describen cómo hay que utilizar el disco para ver las imágenes y oír los sonidos que contiene.

LA ODISEA DE LAS VOYAGER

Como en las Pioneer, también en las Voyager 1 y 2, destinadas a perderse por el espacio interestelar después de haber explorado los planetas exteriores del sistema solar, hay un mensaje. En este caso, se trata de un videodisco en el cual se ha registrado una cierta cantidad de información. Hay imágenes (20 en color y 96 en blanco y negro), sonidos (en 60 idiomas distintos y 90 minutos de músicas típicas de todas las regiones del mundo) e informaciones sobre la química y la biología de la especie humana. Se trata, pues, de una especie de «enciclopedia» espacial que quiere dar testimonio del hombre y de su modo de vida hasta los más remotos rincones de la Vía Láctea.

El disco es de cobre dorado y va dentro de un estuche en el cual están grabadas las «instrucciones de uso», análogas a las que figuran en las placas de la Pioneer. También en este caso, la clave de lectura es la frecuencia de 1.420 MHz de la transición atómica del hidrógeno.

LA CASSINI

La misión de la sonda Cassini, dirigida hacia el sistema de Saturno, adonde llegará

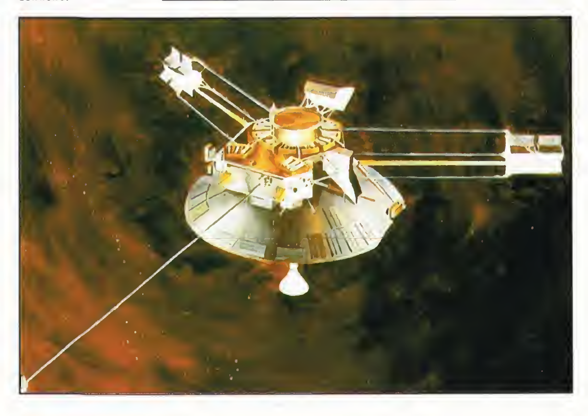


Imagen de una de las dos sondas Voyager. En 1998 la Voyager 2 se convertirá en el objeto construido por el hombre más alejado de la Tierra.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

ATMÓSFERAS DE LOS PLANETAS TERRESTRES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

MODELOS UNIFICADOS DE NÚCLEOS GALÁCTICOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

EL ÁGUILA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

ASTRONAUTAS FAMOSOS: YURI GAGARIN

EL USO DEL ESPACIO

ROBERT GODDARD Y WERNHER VON BRAUN

Las tapas intercambiables están ya a su disposición en todos los puntos de venta.



Estas tapas sirven para encuadernar dieciséis fascículos y van acompañadas de un juego completo de transferibles. De esta manera, usted mismo puede ordenar los volúmenes según van apareciendo. Basta colocar en el lomo el número que corresponda.



